



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS PENGARUH KEDALAMAN DAN UKURAN
DISKONTINUITAS PADA MATERIAL *CASTING*
MENGUNAKAN METODE *ULTRASONIC TEST*
(*STRAIGHT BEAM*)**

**David Andreas Kostaman
NRP 4114100081**

**Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS PENGARUH KEDALAMAN DAN UKURAN
DISKONTINUITAS PADA MATERIAL *CASTING*
MENGUNAKAN METODE *ULTRASONIC TEST*
(*STRAIGHT BEAM*)**

David Andreas Kostaman
NRP 4114100081

Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



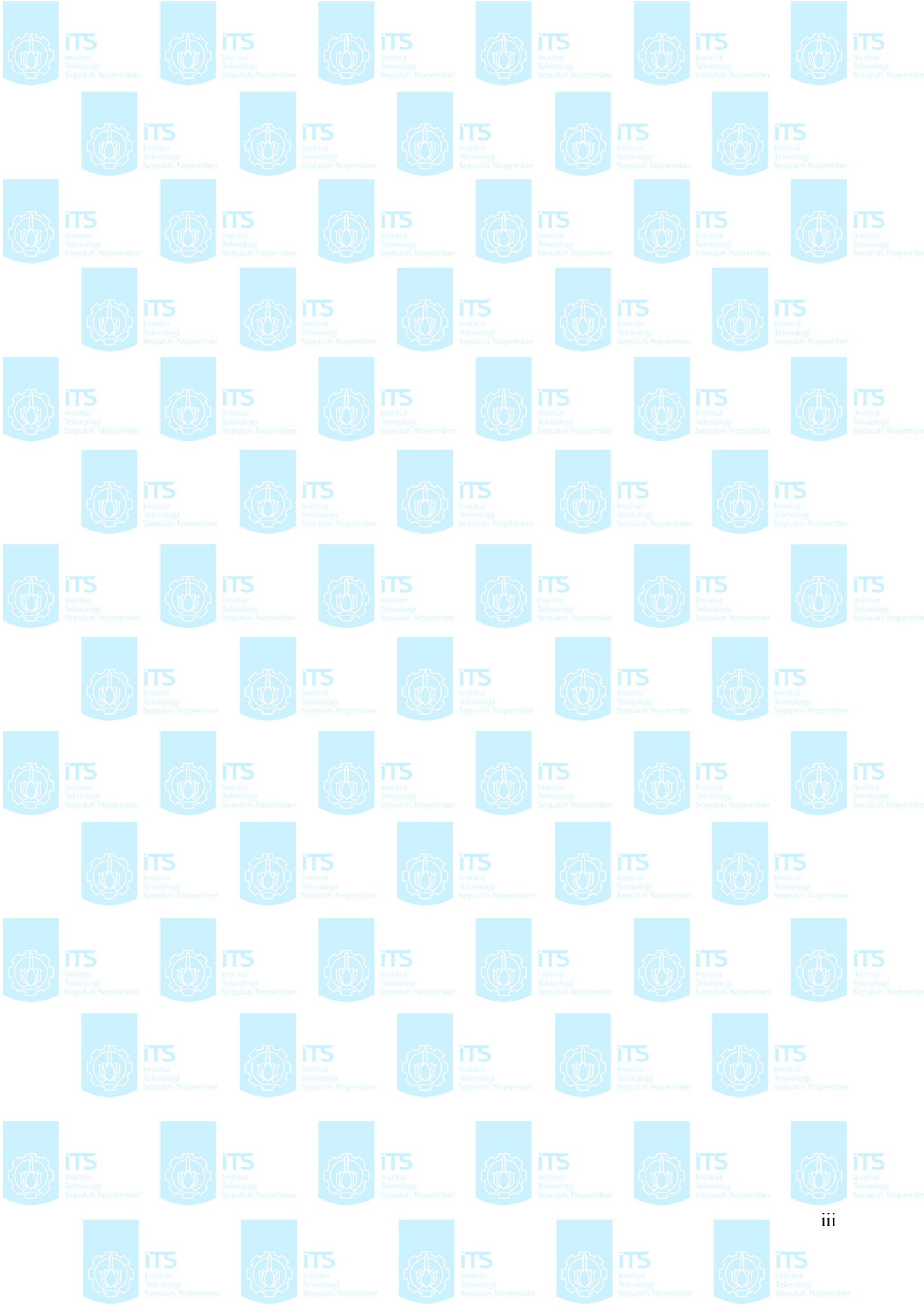
FINAL PROJECT - MN 141581

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF FLAW DEPTH AND SIZE
FOR CASTING MATERIAL USING ULTRASONIC TESTING
STRAIGHT BEAM PROBE**

**David Andreas Kostaman
NRP 4114100081**

**Supervisor
Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**



LEMBAR REVISI

ANALISIS PENGARUH KEDALAMAN DAN UKURAN DISKONTINUITAS PADA MATERIAL CASTING MENGUNAKAN METODE *ULTRASONIC TEST (STRAIGHT BEAM)*

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 2018

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DAVID ANDREAS KOSTAMAN
NRP 4114100081

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. I Ketut Suastika
2. Totok Yulianto, S.T., M.T.
3. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.
4. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Wing Hendro Prasetyo, AP, S.T., M.Eng.

SURABAYA,

2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH KEDALAMAN DAN UKURAN DISKONTINUITAS PADA MATERIAL CASTING MENGUNAKAN METODE *ULTRASONIC TEST (STRAIGHT BEAM)*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DAVID ANDREAS KOSTAMAN
NRP 4114100081

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.
NIP 19700615 199512 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA,

2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Pak Wing Hendropasetyo Akbar Putra selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Pak Totok, Pak Donny, Ibu Septi, Pak Misbah, Pak Wing selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
3. Pak Totok Yulianto selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Pak Fairil yang telah memberikan bimbingan dalam penggunaan perangkat UT
5. Ayah, ibu, dan adik yang selalu memberi *support* dan doa
6. Segenap teman-teman angkatan 2014 yang terus mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir ini

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, June 27th 2018

David Andreas Kostaman

ANALISIS PENGARUH KEDALAMAN DAN UKURAN DISKONTINUITAS PADA MATERIAL *CASTING* MENGGUNAKAN METODE *ULTRASONIC TEST (STRAIGHT BEAM)*

Nama Mahasiswa : David Andreas Kostaman
NRP : 4114100081
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Wing Hendropresetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Pada era industri seperti sekarang ini, material *casting* khususnya *cast iron* sangat mudah ditemui aplikasinya pada industri air serta maritim. Pada bidang perkapalan, material *cast iron* sering digunakan untuk pipa-pipa pembuangan *sewage*, *ballast*, dan *bearing* pada kapal. Untuk menjaga performa dan pemeliharaan perlengkapan di atas, proses *Non-Destructive Test* sering dipakai untuk mencari adanya diskontinuitas yang bisa menyebabkan kegagalan material akibat adanya beban berulang dari proses *service* yang dilakukan terus menerus. Salah satu metode NDT yang *cost-effective* dan sering dipakai ketika melakukan inspeksi rutin adalah *Ultrasonic Testing*. Pengujian UT pada material *cast iron* memiliki kesulitan tersendiri yang disebabkan oleh struktur internal material tersebut yang memiliki butiran besar sehingga dibutuhkan sebuah riset tentang metode pengujian UT pada material *cast iron* pada kapal.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh kedalaman dan ukuran diskontinuitas pada material *casting* menggunakan *UT straight beam probe*. Dalam pelaksanaannya, akan ada proses manufaktur blok kalibrasi berbentuk silinder yang terbuat dari *cast iron* dan terbagi menjadi dua set spesimen uji dengan lubang *flat-bottom* dibor tegak lurus pada permukaan yang berlawanan dari permukaan uji sebagai sarana dari diskontinuitas buatan. Set pertama terdiri dari tiga blok yang memiliki diameter lubang yang berbeda-beda yaitu 3.2, 3.6, dan 4.0 mm tetapi memiliki *metal path* yang sama (75.0 mm). Sebaliknya, set kedua terdiri dari 7 blok dengan diameter lubang yang sama (1.5 mm) tetapi mempunyai kedalaman *metal path* yang bervariasi yaitu 9.525, 12.7, 15.875, 19.05, 22.225, 25.4, dan 31.75 mm dari permukaan *scanning*.

Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa kedalaman dan ukuran diameter diskontinuitas mempengaruhi sensitivitas indikasi perangkat UT. Semakin besar diameter lubang, maka semakin tinggi pulsar diskontinuitasnya, sebaliknya semakin dalam *metal path* blok yang diuji, semakin rendah pulsar diskontinuitasnya. Selain itu, kurva DAC hasil pengujian bisa dijadikan standar sensitivitas pengujian *cast iron*. Jika pulsar indikasi pada pengujian UT *cast iron* lain lebih tinggi dibandingkan DAC yang telah dibuat, maka ukuran diskontinuitasnya melebihi diameter lubang kurva DAC yaitu sebesar 1.5 mm. Yang terakhir, hasil pengujian set *Area Amplitude Block* bisa dijadikan referensi ukuran diskontinuitas berdasarkan perbandingan besar *gain* yang dibutuhkan agar pulsar indikasi mencapai 80% FSH.

Kata kunci: *Ultrasonic Test*, *Cast Iron*, Diskontinuitas, Kurva DAC, Blok Kalibrasi

ANALYSIS OF THE EFFECT OF FLAW DEPTH AND SIZE FOR CASTING MATERIAL USING ULTRASONIC TESTING STRAIGHT BEAM PROBE

Author : David Andreas Kostaman
Student Number : 4114100081
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

Casting material such as cast iron is a common material in water and maritime industry. In shipbuilding and repair process, cast iron is often used for sewage, ballast piping, and propeller bearing. To keep and maintain the equipment performance, Non-Destructive Test is conducted to seek discontinuities as a result of continuous service load which can cause material failure. Since cast iron internal structure is more difficult to ultrasonically inspected due to its coarse grain structure, this final project is carried out.

This final project will analyse the influence of the depth and size of discontinuities in casting material using UT straight beam probe. Two sets of calibration block were manufactured in accordance with ASTM E127 or E428 to standardize the flaw indication which are Area Amplitude Block and Distance Amplitude Block. The Area Amplitude Block set consist of block with different hole diameter which are (3.2, 3.4, and 3.6 mm) but have same metal path which is 75 mm. On the other hand, the second set consists of blocks with the same holes' diameter (1.5 mm) but have different length of metal path which are 9.525, 12.7, 15.875, 19.05, 22.225, 25.4, and 31.75 mm.

The result of the examination shows that the depth and size of the indication affect the sensitivity. The greater the hole diameter, the higher the flaw pulse will be obtained whereas the greater the metal path, the flaw pulse will be lower. Moreover, Distance Amplitude Block can be used to generate DAC curve as a standard reference for cast material testing. Any indication which is higher than the DAC curve indicates that the size of the flaw is greater than 1.5 mm. Area Amplitude Block can give the discontinuity size reference by comparing the gain needed to obtain 80% FSH.

Keywords: Ultrasonic Test, Cast Iron, Discontinuity, DAC Curve, Calibration Blocks

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
Bab I PENDAHULUAN	13
I.1. Latar Belakang Masalah	13
I.2. Perumusan Masalah	14
I.3. Tujuan	14
I.4. Batasan Masalah	14
I.5. Manfaat	15
I.6. Hipotesis	15
Bab II TINJAUAN PUSTAKA.....	17
II.1. Non-Destructive Testing (NDT)	17
II.2. Cast Iron.....	18
II.3. Aplikasi Cast Iron pada Kapal	20
II.4. <i>Electrical Discharge Machining</i>	21
II.5. <i>Wire Cut</i> EDM dan Cara Kerjanya	21
II.6. Ultrasonic Testing.....	22
II.7. <i>Couplant</i>	25
II.8. Kurva DAC	26
II.9. Referensi Standard Kurva DAC.....	27
II.9.1. <i>Side-Drilled Holes</i> (SDH).....	28
II.9.2. <i>Flat-Bottom Hole</i> (FBH).....	28
II.9.3. <i>Area Amplitude Blocks</i>	29
II.9.4. <i>Distance Amplitude Blocks</i>	29
Bab III METODOLOGI	31
III.1. Diagram Alir	31
III.2. Diagram Alir Lanjutan	32
III.3. Bahan dan Peralatan.....	33
III.3.1. Material.....	33
III.3.2. Mata Bor	33
III.4. Proses Pengerjaan	34
III.4.1. Pemotongan Material.....	34
III.4.2. Pengeboran Lubang	36
III.5. Lokasi Pengerjaan.....	36
III.6. Hasil Pembuatan Spesimen Set <i>Distance Amplitude Block</i>	37
III.7. Hasil Pembuatan Spesimen Set <i>Area Amplitude Block</i>	37
III.8. Pengujian Spesimen	38
III.8.1. Persiapan Pengujian.....	38

III.8.2. Prosedur Pengujian <i>Ultrasonic Testing</i>	40
Bab IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	45
IV.1. Hasil Pengujian Set <i>Distance Amplitude Block</i>	45
IV.1.1. Hasil Pengujian Blok A	46
IV.1.2. Hasil Pengujian Blok B	47
IV.1.3. Hasil Pengujian Blok C	47
IV.1.4. Hasil Pengujian Blok D	48
IV.1.5. Hasil Pengujian Blok E.....	49
IV.1.6. Hasil Pengujian Blok F	49
IV.1.7. Hasil Pengujian Blok G	50
IV.1.8. Bentuk Kurva DAC Hasil Pengujian Set <i>Distance Amplitude Block</i> ..	50
IV.1.9. Analisa Hasil Pengujian <i>Distance Amplitude Block</i> dan Kurva DAC	51
IV.2. Hasil Pengujian Set <i>Area Amplitude Block</i>	52
IV.2.1. Hasil Pengujian Blok H	53
IV.2.2. Hasil Pengujian Blok I.....	54
IV.2.3. Hasil Pengujian Blok J.....	54
IV.2.4. Analisa Hasil Pengujian Set <i>Area Amplitude Block</i>	55
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN	57
V.1. Kesimpulan	57
V.2. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN	
LAMPIRAN SPESIFIKASI <i>CAST IRON</i>	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar I 1.	Ilustrasi pengelasan pipa.....	14
Gambar II 1.	Jenis-jenis metode NDT yang umum digunakan. Sumber: (Agency, 1999) ..	17
Gambar II 2.	Struktur mikro <i>gray cast iron</i>	19
Gambar II 3.	<i>House bearing</i> berbahan dasar <i>grey cast iron</i>	20
Gambar II 4.	Ilustrasi <i>piping</i> yang menggunakan <i>cast iron</i>	21
Gambar II 5.	Ilustrasi tampilan layar alat UT <i>scan</i>	23
Gambar II 6.	Ilustrasi prinsip dasar UT (<i>Pulse Echo</i>).....	25
Gambar II 7.	Ilustrasi prinsip dasar UT (<i>Pulse Transmission</i>)	25
Gambar II 8.	<i>Couplant cair</i>	26
Gambar II 9.	Tampilan kurva DAC	27
Gambar II 10.	IIW-Type 1 Block (ASTM E164)	28
Gambar II 11.	<i>Area Amplitude Block</i> (ASTM E127, ASTM E428)	29
Gambar II 12.	<i>Distance Amplitude Block</i> (ASTM E127, ASTM E428).....	29
Gambar II 13.	Ilustrasi Proses Pembuatan Kurva DAC (Sumber: NDE Education)	43
Gambar III 1.	Diagram alir	31
Gambar III 2.	Lanjutan diagram alir.....	32
Gambar III 3.	<i>Cast iron</i> berbentuk <i>rod</i>	33
Gambar III 4.	Mata bor yang digunakan	33
Gambar III 5.	Mesin <i>wire-cut</i> EDM beserta meja kerjanya	34
Gambar III 6.	Gulungan <i>copper wire</i> yang digunakan pada proses EDM	35
Gambar III 7.	EDM <i>unit control screen display</i>	35
Gambar III 8.	Alat bor untuk membuat lubang pada blok kalibrasi.....	36
Gambar III 9.	Tampilan gambar teknik set uji <i>Distance Amplitude Block</i>	37
Gambar III 10.	Tampilan gambar teknik set uji <i>Area Amplitude Block</i>	38
Gambar III 11.	Probe pengujian <i>Ultrasonic Testing</i> yang digunakan.....	39
Gambar III 13.	<i>Ultrasonic Testing Machine</i>	40
Gambar IV 1.	Set <i>Distance Amplitude Block</i>	45
Gambar IV 2.	Tampilan hasil pengujian Blok A	46
Gambar IV 3.	Tampilan hasil pengujian Blok B	47
Gambar IV 4.	Tampilan hasil pengujian Blok C	47
Gambar IV 5.	Tampilan hasil pengujian Blok D	48
Gambar IV 6.	Tampilan hasil pengujian Blok E	49
Gambar IV 7.	Tampilan hasil pengujian Blok F	49
Gambar IV 8.	Tampilan hasil pengujian Blok G	50
Gambar IV 9.	Tampilan Kurva DAC set <i>Distance Amplitude Block</i>	51
Gambar IV 10.	Tujuh titik puncak <i>defect pulse</i> sebagai pembentuk kurva DAC	51
Gambar IV 11.	Set <i>Area Amplitude Block</i>	53
Gambar IV 12.	Tampilan hasil pengujian Blok H.....	54
Gambar IV 13.	Tampilan hasil pengujian Blok I	54
Gambar IV 14.	Tampilan Hasil Pengujian Blok J	55

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Proses pengelasan atau penyambungan pada kapal baik dalam penyambungan pelat maupun proses reparasi kapal merupakan salah satu hal yang sangat esensial. Hal ini disebabkan beban yang akan dialami pada kapal sangat berat baik dari beban internal seperti kargo yang dibawa maupun beban eksternal berupa gaya dari gelombang laut, sehingga proses pengelasan harus sangat diperhatikan. Terjadinya kerusakan pada bagian sambungan poros *shaft propeller* kapal adalah salah satu hal yang perlu ditangani dengan segera. [Hellier, 2003]

Suatu material seringkali mengalami kerusakan akibat proses pengelasan. Sama halnya terjadi pula pada las-lasan sambungan *shaft propeller* kapal yang terbuat dari *material casting*. Selain itu, sistem perpipaan aliran sewage dan bearing pada kapal yang terbuat dari *cast iron* juga rentan mengalami kerusakan. Pada umumnya, kerusakan tersebut dapat terjadi di permukaan dan di bawah permukaan. Jika kerusakan terjadi di atas permukaan, akan mudah dideteksi secara kasat mata atau secara visual. Namun beda halnya jika kerusakan tersebut terjadi di bawah permukaan. Kerusakan akan sulit dideteksi dan akan menyebabkan kegagalan pada material tersebut. Banyaknya kasus yang terjadi seperti yang dapat dilihat pada tabel I.1 turut mempengaruhi kebutuhan akan proses analisis dan evaluasi material yang semakin mendesak. Oleh karena itu, diperlukan metode *Nondestructive Testing* guna mendeteksi dan mengukur terjadinya kerusakan pada material, sehingga segala dampak yang ditimbulkan dapat diminimumkan. [Hellier, 2003].

Tabel I 1. Jumlah kasus *casting defect* pada industri di US per bulan [Borowiecki, 2011]

Casting defect	Participate in	Participation defects	Growth
Sand Holes	92	27	27
Misrun	42	20.6	47.6
Shrinkage	52	18.6	66.2
Porosity	39	14.3	80.5
Slag Inclusion	58.9	5.3	85.8
Sand Buckle	22	3.9	89.7
Blowhole	10.1	3.1	92.8
Swell Mould	27.8	2.7	95.5
Mould Shift	26.7	2.4	97.9
Hard Spots	10.4	2.1	100

Salah satu metode *Nondestructive Testing* yang telah digunakan untuk pengecekan retak adalah metode *Ultrasonic Testing*. Metode ini sudah lebih dulu dimanfaatkan untuk mendeteksi retak pada bagian pesawat.



Gambar I 1. Ilustrasi pengelasan pipa

I.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah bagaimana hasil pendeteksian kedalaman serta ukuran cacat pada material *casting* dengan metode *ultrasonic testing* dan melihat hubungan antara ukuran kecacatan dan amplitude pantulannya

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis hubungan antara ukuran diskontinuitas dan amplitude pantulannya
2. Menentukan hubungan antara *metal distance* dengan amplitudonya
3. Menghasilkan blok kalibrasi standard yang akan digunakan pada pengujian UT pada material casting

I.4. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah:

- Material yang digunakan adalah material *casting*
- Pemodelan lubang diskontinuitas buatan dengan menggunakan alat bor atau EDM
- Diskontinuitas buatan yang dikerjakan pada spesimen uji adalah *Flat-Bottom Hole*
- Jenis diskontinuitas pada spesimen uji sesuai standar ASTM E127 dan ASTM E428
- Metode pengujian menggunakan *Ultrasonic Testing Normal Probe*

I.5. Manfaat

Dari tugas akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat yaitu, diharapkan hasil dari tugas akhir ini dapat berguna sebagai referensi dalam mengetahui pengaruh kedalaman serta ukuran cacat pada material *casting* pada komponen bagian kapal terhadap pendeteksian metode *ultrasonic testing* dan menguji apakah blok kalibrasi yang dibuat bisa diterapkan untuk pengujian.

I.6. Hipotesis

Dugaan awal dari tugas akhir ini adalah ukuran serta kedalaman lubang diskontinuitas pada sambungan material *casting* mempengaruhi hasil baca dari *ultrasonic testing* ini dan test block ini bisa digunakan untuk uji material casting komponen bagian kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

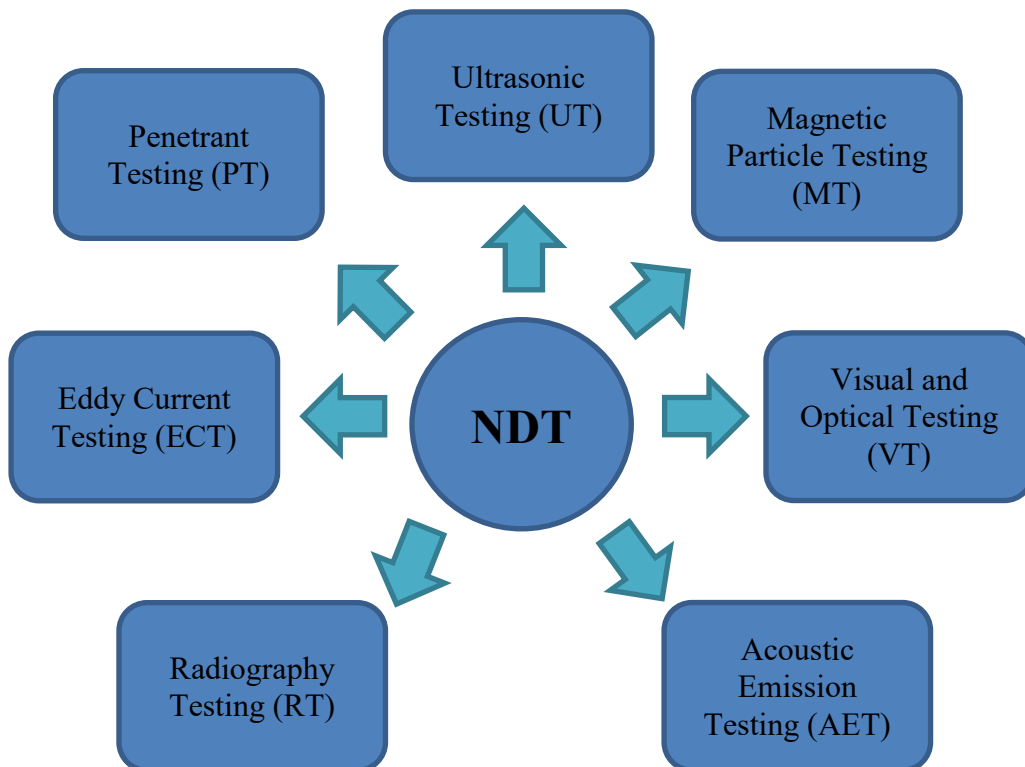
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Non-Destructive Testing (NDT)

Definisi umum dari *non-destructive testing* (NDT) adalah sebuah pemeriksaan, tes, atau evaluasi yang dilakukan pada segala jenis objek tes tanpa merubah objek tersebut dalam segala bentuk, sebagai upaya untuk menentukan ada atau tidaknya sebuah kondisi diskontinuitas yang bisa memiliki efek pada fungsi serta kegunaan dari objek tersebut. *Non-destructive test* bisa juga dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari objek tes seperti ukuran, dimensi, konfigurasi, atau struktur termasuk dengan paduan campuran, kekerasan, dan ukuran butiran mikro objek tersebut. Istilah *non-destructive examination* atau *non-destructive evaluation* (NDE) juga sering digunakan untuk mendeskripsikan teknologi tersebut. (Hellier, 2003).

Metode dari *non-destructive testing* ini selalu berkembang dan pada saat ini, setidaknya ada enam macam metode NDT yang sering sekali digunakan yaitu:



Gambar II 1. Jenis-jenis metode NDT yang umum digunakan. Sumber: (Agency, 1999)

Dalam dunia perindustrian, *Non-Destructive Test* berperan penting sebagai:

- Pemeriksaan material sebelum diproses
- Evaluasi material selama proses pengerjaan
- Pemeriksaan *final product*
- Evaluasi produk atau struktur yang sudah bekerja
- Mencegah kecelakaan atau kegagalan (*failure*) material yang bersangkutan.

Non-Destructive Testing pada kenyataannya bisa dianggap sebagai perpanjangan dari indera manusia dalam bentuk penggunaan peralatan elektronik yang sangat canggih dan unik lainnya. Sangat memungkinkan untuk meningkatkan sensitivitas dan aplikasi dari indera manusia jika digabungkan dengan peralatan canggih seperti yang telah disebutkan di atas.

Ringkasnya, NDT merupakan sebuah teknologi yang sangat krusial dan penting yang dapat memberikan informasi yang sangat berguna mengenai kondisi actual dari objek yang diperiksa jika pemeriksaan ini dilakukan sesuai dengan standard dan prosedur, serta dilakukan oleh seorang tenaga ahli yang memiliki kualifikasi (Hellier, 2003).

II.2. Cast Iron

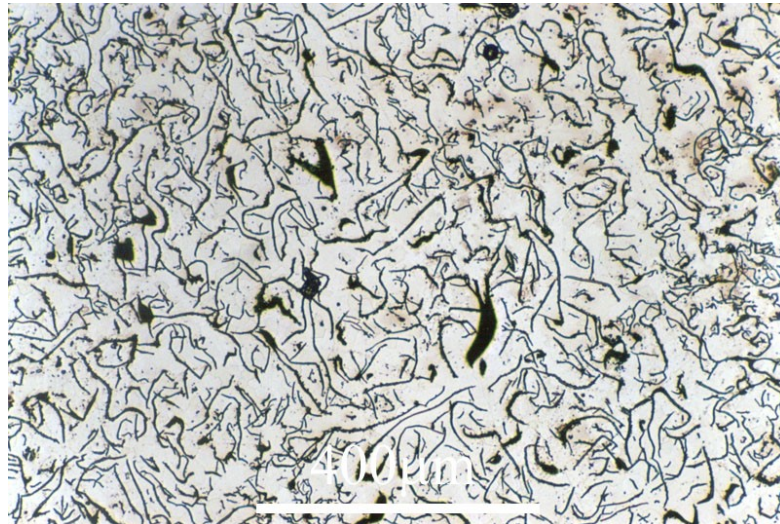
Cast iron merupakan salah satu jenis ferrous metal tertua di dalam dunia komersil. Komponen utama penyusun cast iron adalah: besi (Fe), karbon (C), dan silikon (Si) walaupun juga sering kali terdapat unsur sulfur (S), mangan (Mn), dan fosfor (P). Cast iron mempunyai kandungan karbon yang relatif tinggi yaitu sekitar 2% sampai 5%. Sifat umum dari cast iron adalah *brittle* dan keras (contohnya sulit untuk dibengkokkan, ditarik, ataupun dibentuk sesuai keinginan) dan relatif lemah ketika diberikan tegangan. Mayoritas jenis-jenis cast iron cenderung untuk mengalami retak dengan hanya mengalami deformasi yang kecil sebelumnya. Namun, cast iron memiliki kekuatan kompresi yang baik dan sering digunakan untuk struktur yang membutuhkan sifat seperti ini. Komposisi dari cast iron, proses manufakturnya, dan *heat treatment* yang diberikan merupakan hal yang fundamental untuk menentukan karakteristik akhirnya (Genculu, 2004).

Untuk mendapatkan cast iron yang paling sesuai sebagai suatu komponen tertentu pada pengaplikasiannya, maka kita harus memahami berbagai jenis cast iron yang ada. Cast iron bisa dibagi menjadi lima kelompok, berdasarkan komposisi dan struktur metalurginya:

- *Gray Cast Iron*
- *Ductile Cast Iron*
- *White Cast Iron*
- *Soft Cast Iron*
- *Compacted Graphite Iron*
- *Alloy Cast Iron*

Komposisi dari cast iron berbeda secara signifikan tergantung dari *grade* jenis *pig iron* yang digunakan pada proses manufakturnya. Tipe dan konsentrasi dari karbonnya pada cast iron dikontrol ketika pembuatannya untuk berbagai macam *grade* cast iron yang memiliki sifat mekanikal serta kemampuan untuk dilas yang berbeda-beda.

Salah satu hal yang membuat cast iron banyak digunakan adalah performanya yang baik jika dibandingkan dengan harganya. Hasil yang baik bisa didapatkan dengan dipengaruhi oleh banyak faktor. Salah satunya adalah dengan mengendalikan struktur mikro dan properti bawaannya.



Gambar II 2. Struktur mikro *gray cast iron*
 Sumber: (Semih Genculu, 2004)

II.3. Aplikasi Cast Iron pada Kapal

Cast iron sangat sering digunakan pada berbagai macam aplikasi di industri, seperti industri air yang telah menggunakan cast iron sejak 150 tahun yang lalu. Sebagai hasilnya, mayoritas dari pipa distribusi air terbuat dari cast iron walaupun belakangan ini, cast iron mulai digantikan oleh material yang baru. (Genculu, 2004)

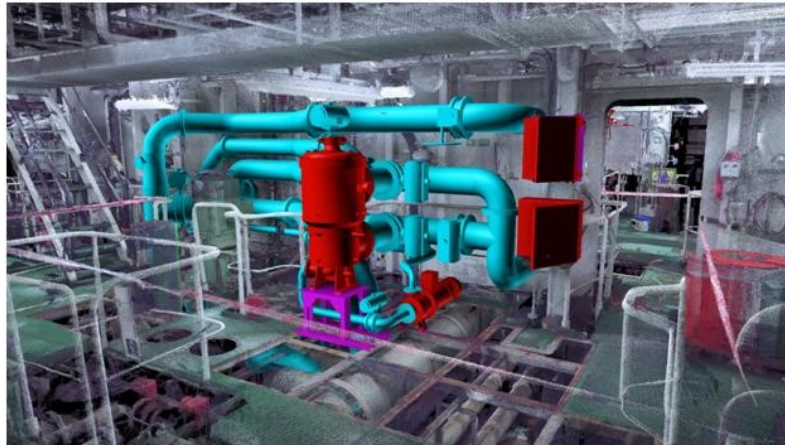
Pada dunia perkapalan, cast iron banyak digunakan sebagai *bush bearing* pada kapal dan baling-baling kapal kendati sudah banyak digantikan dengan material jenis *manganese brass*. Penggunaan lain cast iron pada kapal adalah pada pipa-pipa pada tempat tertentu yang sudah diatur di dalam peraturan klas.

Peraturan pertama penggunaan cast iron dalam klas adalah, tidak boleh menggunakan cast iron pada pipa-pipa yang mudah terkena tekanan secara tiba-tiba, regangan yang berlebihan, serta getaran berlebih. Yang kedua, tidak untuk sistem pipa hidrolik, ketika terjadi kegagalan bisa mengakibatkan kegagalan seluruh sistem dan memiliki potensi terjadinya kebakaran. Selain hal-hal di atas cast iron bisa digunakan untuk sistem perpipaan kapal sesuai dengan aturan klas. (DNV Section 2, Materials, A.Piping Systems).

Jenis-jenis pipa di atas termasuk ke dalam perpipaan grade III, yang pada umumnya memperbolehkan penggunaan cast iron, jika merujuk pada peraturan klas DNV. Selain itu, cast iron juga digunakan pada *plain brazed flanges*, pipa *clean ballast line* menuju *forward ballast tank*. Lebih lagi, perpipaan, *valve*, *fittings* pada jalur kargo kapal tanker juga diperbolehkan untuk menggunakan *gray cast iron*. (DNV GL AS Part 4, Chapter 2, Section 1 - 2.Materials – 2.2.3 & 2.2.4) .



Gambar II 3. *House bearing* berbahan dasar *grey cast iron*



Gambar II 4. Ilustrasi *piping* yang menggunakan *cast iron*

II.4. *Electrical Discharge Machining*

Electrical Discharge Machine (EDM) merupakan mesin produksi yang memanfaatkan konversi listrik dan panas, dimana energi listrik digunakan untuk memunculkan loncatan bunga api (*spark*) dan proses pemakanan material terjadi akibat energi panas yang ditimbulkan dari bunga api tersebut.

Loncatan bunga api tersebut terjadi tidak kontinu, akan tetapi timbul secara periodik terhadap waktu. Dalam EDM tidak ada proses kontak dan gaya pemotongan antara pahat dan material benda kerja. Hal ini mengakibatkan tidak adanya tegangan mekanik, *chatter*, dan masalah getaran seperti yang pasti terjadi pada proses pemesinan tradisional.

EDM juga disebut metode pemesinan yang dasarnya digunakan untuk logam keras atau logam-logam yang tidak mungkin dapat diolah dengan menggunakan metode tradisional. Suatu batasan yang penting bahwa EDM hanya bekerja untuk benda-benda yang dapat dialiri listrik atau benda-benda konduktif. EDM dapat memotong sudut kecil atau sudut dengan bentuk tak beraturan, garis tak beraturan atau lubang/rongga pada logam-logam berat dan logam mulia seperti titanium, hastelloy, kovar, inconel, dan carbide. Selain itu Mesin ini dapat melakukan beberapa pengerjaan seperti menyisipkan, memotong, dan menggerinda. (Utomo, 2015)

II.5. *Wire Cut EDM dan Cara Kerjanya*

Pada tugas akhir ini, jenis mesin EDM yang digunakan adalah wire cut EDM yang merupakan jenis permesinan EDM dengan menggunakan sebuah kawat kecil sebagai pahat, kemudian memakan benda kerja yang diberi cairan dielektrik. Wire-Cut EDM secara khusus digunakan untuk memotong benda kerja yang tebal dari bahan yang keras. *Wire-Cut*

menggunakan air sebagai pengantar arusnya dengan penghambat air dan partikel-partikel elektrik lain yang dikontrol oleh penyaring dan unit de-ionizer

Kawat yang digunakan pada mesin *wire-cut* EDM ini adalah *copper wire*. Kawat ini terbuat dari tembaga murni dan digunakan pada proses EDM.

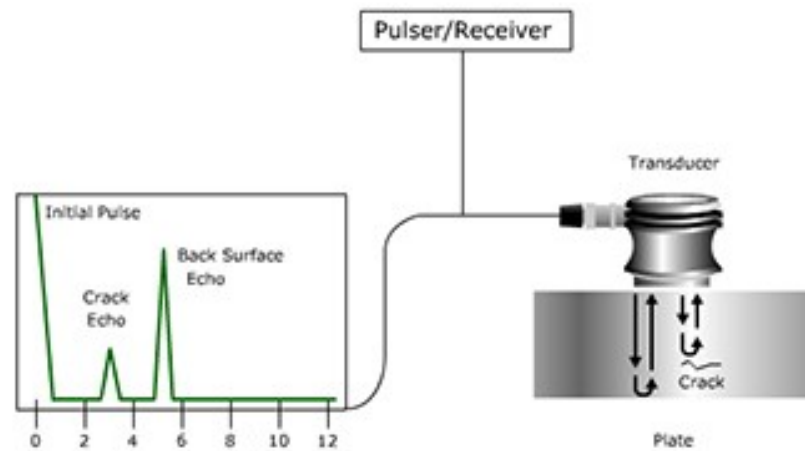
Ciri-ciri *copper wire*:

1. Kekuatan tarik rendah, tingkat elongasi tinggi, tingkat kerusakan tinggi
2. Kondisi *flushing* rendah akibat penguapan temperature tinggi
3. Kecepatan pemrosesan lambat karena konduktivitas yang tinggi
4. Efisiensi rendah karena panas yang banyak terserap oleh kawat

II.6. Ultrasonic Testing

Test Ultrasonic merupakan sebuah metode pengujian tidak merusak atau *Non-Destructive Test* di mana gelombang suara berfrekuensi tinggi ditembakkan ke dalam material yang akan diinspeksi. Rata-rata frekuensi gelombang suara untuk pengujian Ultrasonic ini sekitar 0.5 sampai 20 MHz, cukup jauh di atas jangkauan pendengaran manusia yang bisa mendengar bunyi dengan frekuensi 20 Hz sampai 20 kHz. Gelombang suara tersebut merambat di dalam material dengan mengalami pengurangan energi (atenuasi) yang diakibatkan oleh karakteristik dari material. Intensitas gelombang suara tersebut diukur setelah mengalami refleksi (*Pulse Echo*) pada *Interfaces* (cacat) atau diukur pada permukaan yang berseberangan dari tempat *scan* awal spesimen (*Pulse Transmission*).

Gelombang yang dipantulkan, dideteksi dan dianalisa untuk menentukan keberadaan dan lokasi dari cacat yang ada. Derajat pantulan ditentukan dari jenis fisik zat yang berada pada bagian *interface* yang berlawanan. Sebagai contoh, gelombang suara akan hampir dipantulkan semua pada perbatasan antara metal dan gas. Sebaliknya, gelombang suara akan dipantulkan sebagian pada perbatasan antara metal dan udara atau metal dan zat pada lainnya. Tes Ultrasonic memiliki tingkat penetrasi yang sangat tinggi dan bisa mendeteksi cacat yang letaknya sangat dalam pada spesimen. Pengujian ini cukup sensitif pada cacat yang sangat kecil dan memungkinkan untuk melakukan penentuan yang akurat antara letak dan ukuran dari kecacatan. (Agency, 1999)



Gambar II 5. Ilustrasi tampilan layar alat UT scan

Gambar diatas adalah tampilan secara sederhana proses pengujian *Ultrasonic Test*, dimana gelombang *Ultrasonic* disorotkan ke permukaan bidang uji dengan garis lurus pada kecepatan konstan, kemudian gelombang tersebut dipantulkan kembali dari permukaan atau cacat benda uji. (CN7-2012 DNV 6.12.5.1 *Straight Beam*)

Hasil dari gelombang suara tersebut ditampilkan pada layar monitor berupa tampilan pulsa untuk mengetahui tebal serta cacat atau tidaknya benda uji tersebut.

Secara umum tampilan pulsa pada layar monitor terdiri dari:

1. *Initial Pulse*
2. *Backwall Pulse*
3. *Defect Pulse*
4. *Noise Pulse*

Sedangkan untuk membedakan tampilan pulsa-pulsa pada layar monitor dapat dijelaskan secara sederhana sebagai berikut:

- a) *Initial Pulse* adalah signal pulsa yang selalu muncul pada saat awal tampilan pengukuran yang terbaca dilayar monitor.
- b) *Defect Pulse* adalah signal pulsa yang muncul sebagai indikasi adanya cacat pada bahan uji.
- c) *Backwall Pulse* adalah signal pulsa yang menyatakan ketebalan bahan uji.

d) *Noise Pulse* adalah kumpulan pulsa-pulsa noise yang muncul pada bahan uji.

Untuk mengetahui apakah itu Backwal pulse kita bisa menambah panjang *range* pada *set up* alat UT. jika Pulsa selalu muncul setiap kelipatan angka pada layar UT test secara teratur misalnya pada jarak 6, 12, 18, 24, berarti pulsa tersebut termasuk dalam kategori *Backwall pulse*.

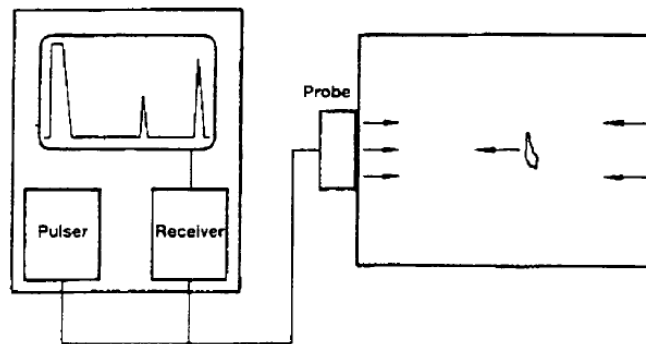
Sedangkan untuk membedakan *Defect pulse* dan *noise pulse* bisa dilakukan dengan mengatur nilai *Reject* pada alat UT test tersebut, jika kita menaikkan nilai *Reject* pada alat UT test kemudian signal yang muncul pada layar monitor menghilang, maka signal tersebut adalah noise pulse, namun bila tampilan signal tetap muncul pada layar monitor, maka signal tersebut adalah *defect pulse*.

Ultrasonic Testing digunakan untuk:

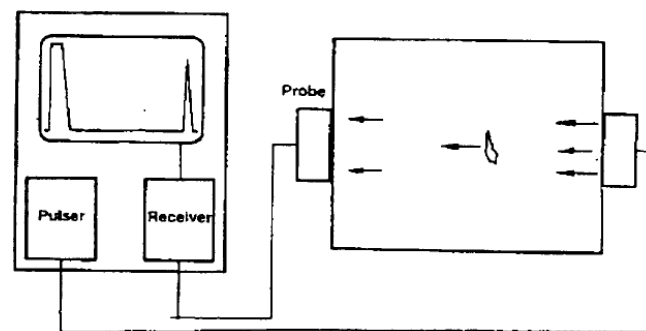
- 1) Menemukan diskontinuitas pada material
- 2) Banyak digunakan untuk menentukan ketebalan
- 3) Digunakan untuk menentukan sifat mekanikal dan bentuk butiran material
- 4) Untuk mengevaluasi pemrosesan variabel dari material

Beberapa keuntungan dari Ultrasonic Testing adalah:

- 1) Memiliki sensitivitas yang tinggi sehingga bisa mendeteksi diskontinuitas yang kecil
- 2) Memiliki kemampuan penetrasi yang tinggi, bisa menembus baja dengan tebal 6 sampai 7 meter sehingga memungkinkan untuk mengukur material yang sangat tebal
- 3) Memiliki akurasi yang sangat tinggi dalam menentukan ukuran serta letak dari cacat
- 4) Memiliki respon yang cepat sehingga bisa dilakukan inspeksi yang segera dan cepat
- 5) Hanya membutuhkan akses satu arah dari spesimen



Gambar II 6. Ilustrasi prinsip dasar UT (*Pulse Echo*)



Gambar II 7. Ilustrasi prinsip dasar UT (*Pulse Transmission*)

Beberapa kekurangan dari metode ini antara lain :

- 1) Geometri yang tidak sesuai dari benda menyebabkan kesulitan dalam melakukan inspeksi
- 2) Menginspeksi material yang memiliki struktur internal material yang tidak diinginkan membuat pengujian menjadi semakin sulit
- 3) Membutuhkan *Couplant*
- 4) *Probe* nya harus di *coupled* dengan baik selama proses scan berlangsung
- 5) Orientasi cacat mempengaruhi kemampuan untuk mendeteksi cacat
- 6) Peralatannya relatif sangat mahal
- 7) Membutuhkan personil yang sudah sangat terlatih

II.7. *Couplant*

Couplant adalah bahan (biasanya cair) yang memfasilitasi transmisi energi ultrasonik dari transduser ke dalam benda uji. *Couplant* umumnya diperlukan karena ketidakcocokan

impedansi akustik antara udara dan padatan (yaitu seperti benda uji) adalah besar. Oleh karena itu, hampir semua energi tercermin dan sangat sedikit yang diteruskan ke dalam bahan uji. *Couplant* ini menggantikan udara dan memungkinkan untuk mendapatkan lebih banyak energi suara ke dalam benda uji sehingga sinyal ultrasonik yang dapat digunakan dapat diperoleh. Dalam pengujian ultrasonik film tipis, minyak, gliserin atau air yang umumnya digunakan antara transduser dan permukaan uji



Gambar II 8. *Couplant* cair

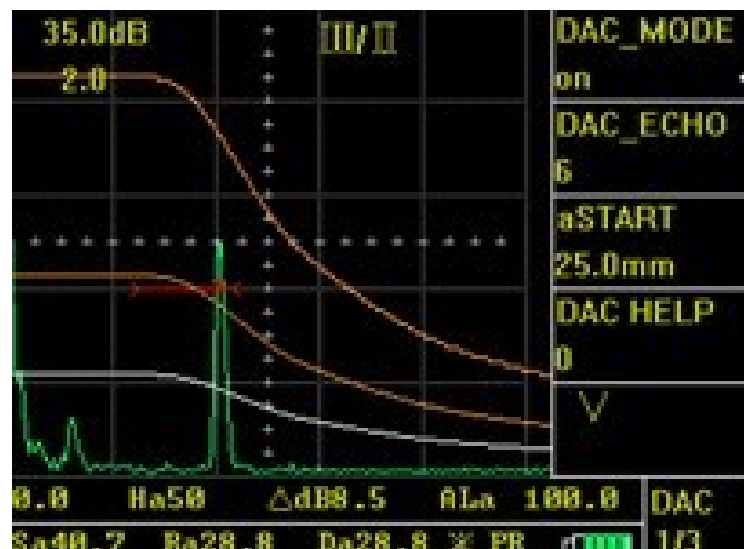
II.8. Kurva DAC

Sinyal akustik dari permukaan reflector yang sama, akan memiliki amplitudo pantulan yang berbeda pada jarak transducer yang berbeda-beda. Distance Amplitude Correction atau yang biasa disebut dengan kurva DAC, menyediakan sarana untuk membuat grafik 'referensi tingkat sensitivitas' sebagai fungsi dari jarak pada tampilan layar A-Scan. Penggunaan DAC memungkinkan sinyal yang dipantulkan dari diskontinuitas yang sejenis dievaluasi, di mana redaman sinyal sebagai fungsi kedalaman bisa berkorelasi. Seringkali, terjadi kehilangan amplitudo terhadap kedalaman material (fungsi waktu) pada DAC, secara grafis pada tampilan A-Scan tetapi bisa juga dilakukan secara elektronik dengan instrument tertentu. Karena perambatan gelombang suara berbeda-beda tergantung dari frekuensi dan ukuran transducernya, dan kecepatan serta pengurangan gelombang bergantung pada materialnya, maka sebuah kurva DAC harus dibuat untuk setiap situasi yang berbeda. DAC bisa diterapkan pada metode longitudinal atau geser, serta pada metode contact atau immersion.

Sebuah kurva DAC disusun dari puncak respons amplitudo dari reflektor dengan area yang sama pada kedalaman berbeda, dengan material yang sama. Sinyal pantulan *A-Scan* ditampilkan pada jenis ketinggian non-elektronik yang dikompensasi dan puncak amplitudo

pada setiap sinyal ditandai pada layar detector cacat atau bisa pada sebuah lembaran plastic transparan yang ditempelkan pada layar.

Pembuatan dari kurva DAC, melibatkan penggunaan referensi standard seperti *side drilled holes* (SDH), *flat bottom hole* (FBH), dan *notches* di mana reflektornya terletak pada kedalaman yang berbeda-beda. Hal penting yang patut diingat adalah, bagaimanapun jenis reflektornya untuk membuat kurva DAC, ukuran dan bentuk reflektornya harus tetap konstan dalam variasi kedalaman suaranya. Referensi standar komersil yang banyak digunakan sebagai dasar penyusunan kurva DAC adalah: ASTM *Distance/Area Amplitude*, ASTM E1158 *Distance Amplitude Block*, test block NavSHIPS, dan ASME *Basic Calibration Block*. Berikut ini merupakan contoh pembuatan kurva DAC menggunakan reflektor jenis *side drilled holes*.



Gambar II 9. Tampilan kurva DAC

II.9. Referensi Standard Kurva DAC

Dalam penyusunan sebuah kurva DAC, diperlukan keterlibatan dari blok kalibrasi standard seperti *flat-bottom hole* (FBH), *side-drilled holes* (SDH), dan *notches* di mana reflector atau cacatnya terletak pada tingkat kedalaman yang bervariasi. Ketiga jenis blok kalibrasi tersebut, merupakan jenis yang paling sering digunakan dalam pengujian. Referensi standard yang banyak diaplikasikan yakni: ASTM *Distance/Area Amplitude*, dan ASTM *Distance Amplitude Block*.

II.9.1. *Side-Drilled Holes (SDH)*

Side-Drilled Holes atau SDH secara khusus merupakan sebuah lubang yang dibor, di mana dinding samping lubang digunakan sebagai permukaan reflector gelombang suara saat pengujian UT. Tidak seperti *flat-bottom hole*, bagian dasar lubang dari SDH tidak memiliki fungsi apapun. SDH sering kali dibuat pada dinding pipa pada lokasi tertentu dari diameter yang berjarak: $\frac{1}{4} T$, $\frac{1}{2} T$, $\frac{3}{4} T$. Lubang ini bisa dibuat secara longitudinal atau secara keliling menuju axis dari pipa. SDH juga bisa dibuat pada pelat, bar, atau produk lainnya.

Contoh penerapan SDH pada referensi standar test blok: IIW-Type 1 Block. Fungsi daripada IIW-Type 1 Block ini adalah, untuk mengkalibrasi *shear* dan *longitudinal transducer*, verifikasi *shear wedge exit point*, dan sudut bias. Bisa juga digunakan untuk mengecek resolusi dan sensitivitas.



Gambar II 10. IIW-Type 1 Block (ASTM E164)

II.9.2. *Flat-Bottom Hole (FBH)*

Flat-Bottom Hole dibuat sedemikian rupa agar memiliki sebuah permukaan pantul yang datar (*flat*) pada dasar lubangnya. Bagian dasar lubangnya berada parallel dari permukaan tempat gelombang suara masuk saat pengujian UT, walaupun bisa juga dibuat dengan memakai sudut yang diinginkan. Ada 2 jenis *flat-bottom hole calibration block* yang sering digunakan. Yang pertama yaitu *Area Amplitude Block* dan yang kedua adalah *Distance Amplitude Block*.

II.9.3. *Area Amplitude Blocks*

Area Amplitude Block merupakan satu set blok kalibrasi dengan bentuk blok yang berupa silinder yang memiliki cacat buatan berjenis *flat-bottom hole*. Pada set *Area Amplitude Block*, ukuran diameter dari lubang bervariasi tetapi dengan jalur metal (*metal path*) yang sama. Fungsi dari set ini adalah untuk mengetahui hubungan dari ukuran cacat dengan amplitudo pantulan gelombang



Gambar II 11. *Area Amplitude Block* (ASTM E127, ASTM E428)

II.9.4. *Distance Amplitude Blocks*

Sama seperti dengan *Area Amplitude Block*, *Distance Amplitude Block* juga berbentuk silinder dengan cacat buatan berjenis *flat-bottom hole*. Akan tetapi, *Distance Amplitude Block* memiliki ukuran diameter lubang yang konstan atau tetap dengan jalur metal (*metal path*) yang bervariasi. Aplikasi kalibrasi dari set ini bertujuan untuk menentukan hubungan dari jarak metal (*metal distance*) dengan amplitudo sinyalnya.



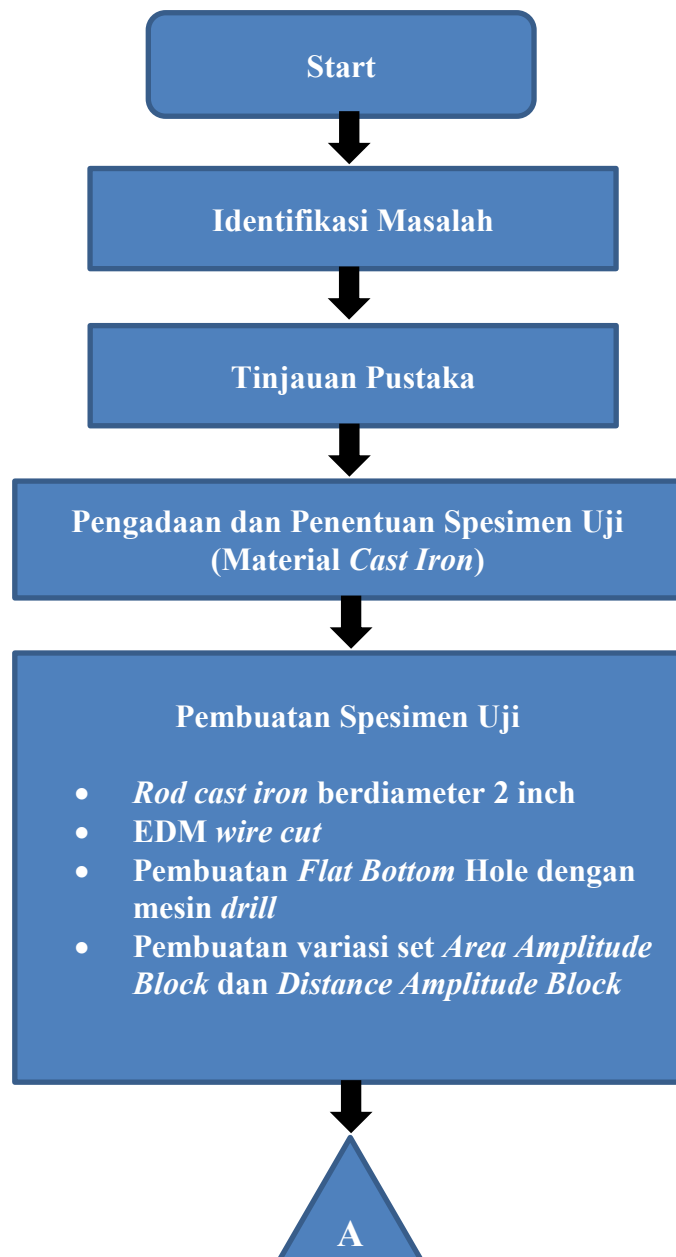
Gambar II 12. *Distance Amplitude Block* (ASTM E127, ASTM E428)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

III.1. Diagram Alir

Gambar di bawah merupakan diagram alir yang menjelaskan tentang garis besar proses pengerjaan tugas akhir ini.



Gambar III 1. Diagram alir

III.2. Diagram Alir Lanjutan



Gambar III 2. Lanjutan diagram alir

III.3. Bahan dan Peralatan

III.3.1. Material

Pada tahap pengadaan material, diperlukan material *cast iron* berbentuk *rod* dengan diameter 2 inchi sepanjang 1 meter sebanyak satu buah. *Rod* inilah yang nantinya akan dijadikan 2 set blok kalibrasi dan merupakan spesimen uji pada tugas akhir ini.



Gambar III 3. *Cast iron* berbentuk *rod*

III.3.2. Mata Bor

Pada material yang akan diuji ini akan dibuat cacat buatan dengan cara dibor. Ukuran mata bor yang digunakan dalam pembuatan lubang akan bervariasi bergantung pada *set* blok kalibrasi yang akan dibuat.

Jenis mata bor yang digunakan adalah *High Strength Steel* dengan merk NACHI dan memiliki kekerasan mencapai sekitar 50 HRC. Ukuran mata bor yang dipakai yaitu 1.5 mm, 3.2 mm, 3.6 mm, dan 4.0 mm.



Gambar III 4. Mata bor yang digunakan

III.4. Proses Pengerjaan

III.4.1. Pemotongan Material

Langkah pertama dalam proses pembuatan specimen uji adalah dengan memotong-motong *cast iron* yang berbentuk *rod* menjadi lebih pendek sesuai dengan ukuran-ukuran pada set blok kalibrasi yang akan dibuat. Proses pemotongan material ini dilakukan dengan menggunakan mesin EDM *wire cutting* yang memiliki ketelitian sampai 0.001 mm. Sebelum pemotongan dilakukan, terdapat proses input koordinat yang diinginkan pada mesin EDM *unit control*.



Gambar III 5. Mesin *wire-cut* EDM beserta meja kerjanya

III.4.2. Pengeboran Lubang

Setelah proses pemotongan dengan mesin *wire-cut* EDM selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan pembuatan cacat buatan berupa lubang yang dibor dengan arah tegak lurus dari seberang permukaan tempat melakukan *UT scan*. Untuk pembuatan lubang pada set *Area Amplitude Block* menggunakan mata bor dengan diameter 3.2 mm, 3.4 mm, dan 3.6 mm sedangkan pembuatan lubang pada set *Distance Amplitude Block* menggunakan mata bor dengan diameter 1.5 mm.



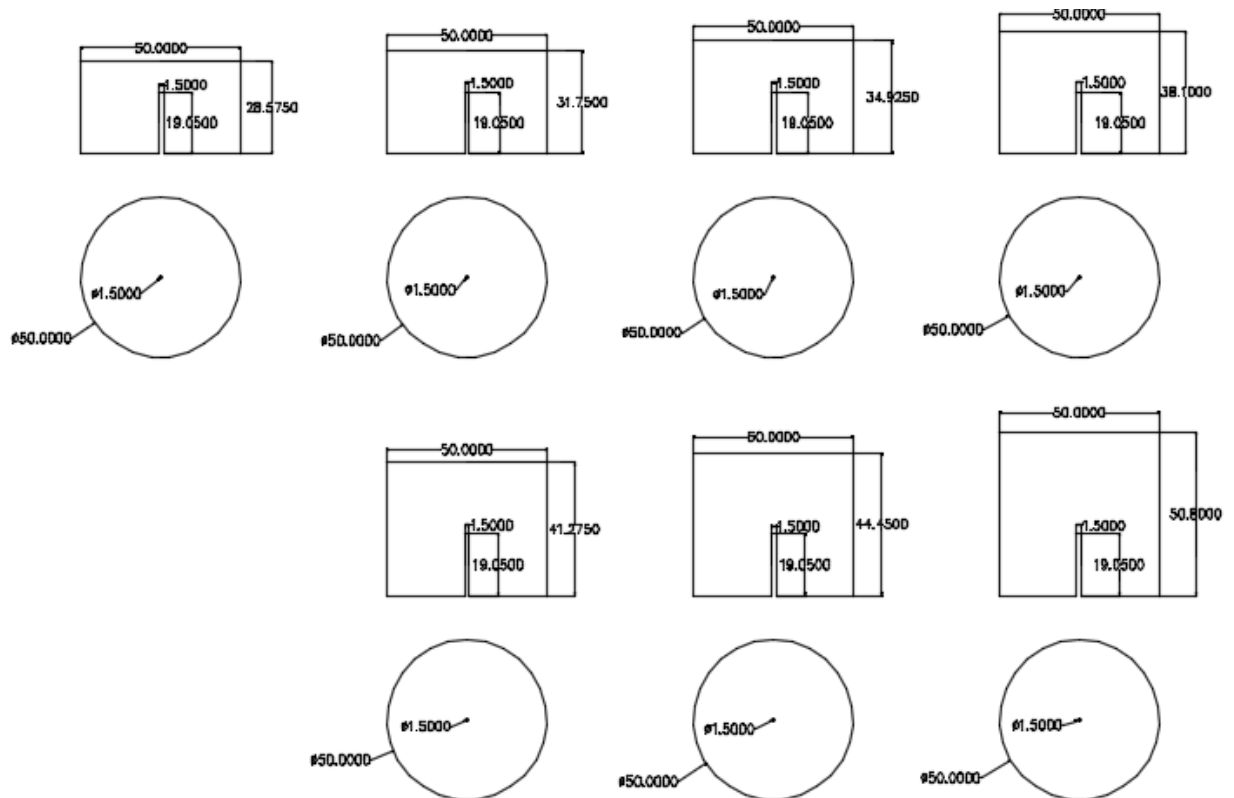
Gambar III 8. Alat bor untuk membuat lubang pada blok kalibrasi

III.5. Lokasi Pengerjaan

Lokasi pembuatan spesimen uji ini terletak di Bengkel Bubut Sampurno yang terletak pada Jalan Keputih Tegal 68. Peralatan pada bengkel bubut ini cukup lengkap yang meliputi mesin *frais*, mesin EDM *stamp* dan *wire-cut*, serta mesin *drill*.

III.6. Hasil Pembuatan Spesimen Set *Distance Amplitude Block*

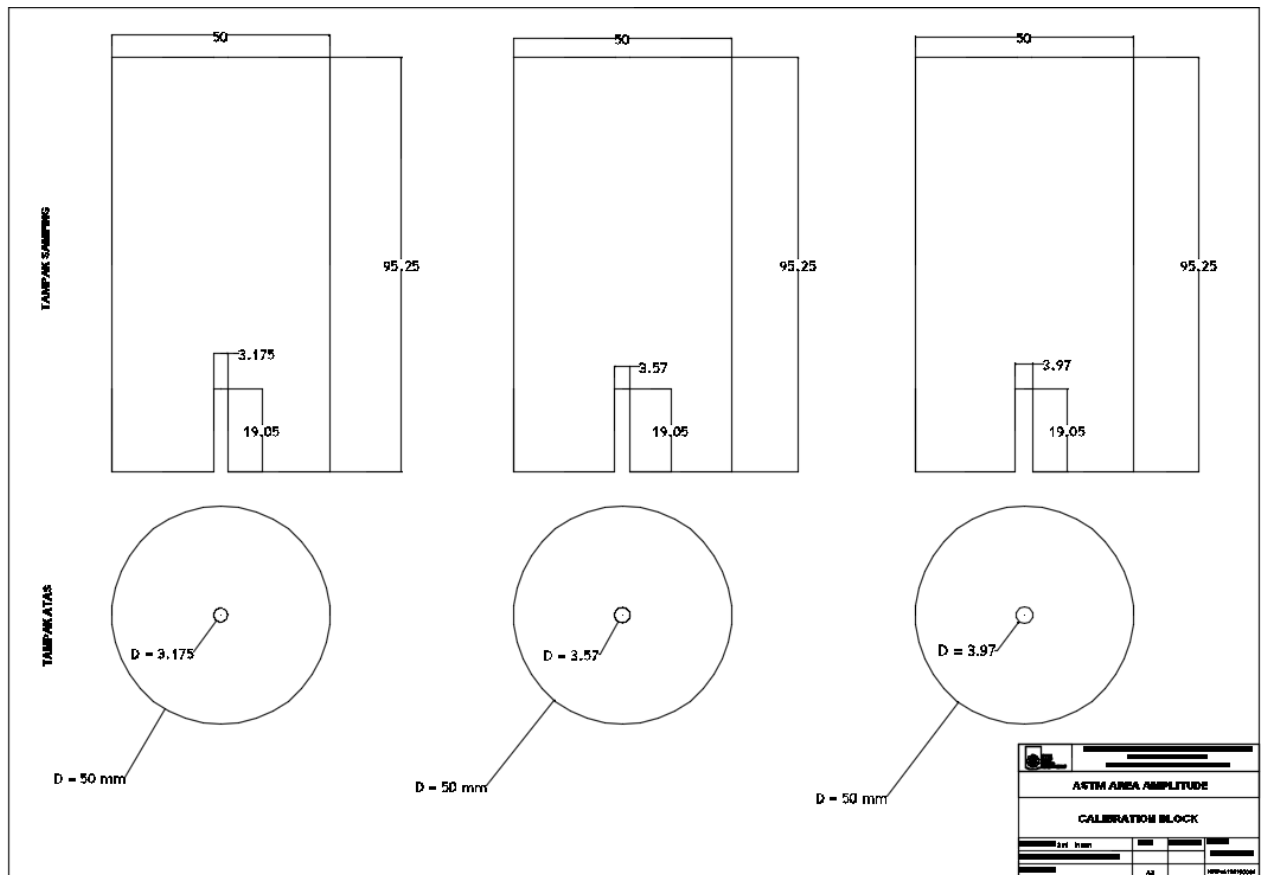
Gambar III.9 menunjukkan gambar teknik yang menampilkan ukuran sebenarnya, dari pandangan samping dan atas spesimen uji set *Distance Amplitude Block*. Satu set *Distance Amplitude Block* yang dibuat terdiri dari tujuh blok kalibrasi. Terlihat pada gambar teknik set *Distance Amplitude Block* ini bahwa ukuran diameter dari lubang yang dibuat tidak berubah (1.5 mm) sedangkan kedalaman *metal path* atau jarak dari permukaan *scan* menuju letak diskontinuitas nya bervariasi.



Gambar III 9. Tampilan gambar teknik set uji *Distance Amplitude Block*

III.7. Hasil Pembuatan Spesimen Set *Area Amplitude Block*

Gambar III.10 menampilkan gambar teknik dari pandangan samping dan atas specimen uji set *Area Amplitude Block*. Satu set *Area Amplitude Block* ini terdiri dari 3 buah blok kalibrasi. Berbeda dengan set *Distance Amplitude*, set *Area Amplitude Block* memiliki diameter lubang yang berbeda-beda sedangkan jalur *metal path* (jarak dari permukaan *scan* menuju diskontinuitas) nya memiliki panjang yang sama yakni 76.2 mm.



Gambar III 10. Tampilan gambar teknik set uji *Area Amplitude Block*

III.8. Pengujian Spesimen

III.8.1. Persiapan Pengujian

Sebelum *Ultrasonic Testing* dimulai, terlebih dahulu wajib untuk melakukan persiapan pada alat-alat dan bahan yang diperlukan untuk pengujian. Berikut merupakan hal yang harus dipersiapkan sebelum melakukan pengujian:

1. Meja Kerja

Meja kerja yang disiapkan haruslah sesuai standard dengan luas meja yang memadai tanpa mengganggu proses pengujian, baik penempatan peralatan *ultrasonic testing* maupun specimen yang akan diuji.

2. Peralatan *Ultrasonic Testing*

Peralatan *ultrasonic testing* yang perlu dipersiapkan antara lain:

a) *Probe* dengan spesifikasi sebagai berikut:

Probe Manufacture/Brand :
Probe Serial Number : 5100888
Probe Type : *Single Crystal*
Beam Type : *Straight Beam*
Probe size : 10 mm
Frequency : 4 Hz



Gambar III 11. Probe pengujian *Ultrasonic Testing* yang digunakan

b) *Couplant*

Couplant cair yang kita gunakan dalam pengujian ini adalah jenis oli.

c) *Ultrasonic Testing Machine* dengan spesifikasi sebagai berikut:

Manufacture/Brand : SIUI
Type : CTS-9005
Serial Number : 549341172017R



Gambar III 12. *Ultrasonic Testing Machine*

III.8.2. Prosedur Pengujian *Ultrasonic Testing*

Apabila tahapan-tahapan sebelum pengujian serta semua peralatan pengujian telah disiapkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *Ultrasonic Testing*. Berikut adalah uraian tahapan pengujian *Ultrasonic Testing*:

- 1) Langkah pertama yaitu melakukan persiapan pada meja kerja. Pada tahapan ini material dan blok kalibrasi disiapkan
- 2) Melakukan kalibrasi dengan blok kalibrasi 11 W type 1 dan pengaturan instrument *Ultrasonic Testing* yang telah disiapkan. Sebelum melakukan kalibrasi, permukaan yang akan discan harus dibersihkan dan bebas dari kotoran.
- 3) Teteskan cairan *couplant* pada daerah yang akan diuji lalu memulai *scan* pada blok kalibrasi. Hal penting yang harus diperhatikan saat melakukan kalibrasi adalah pengaturan *setting* pada beberapa variable yang tertera pada *display UT machine*.

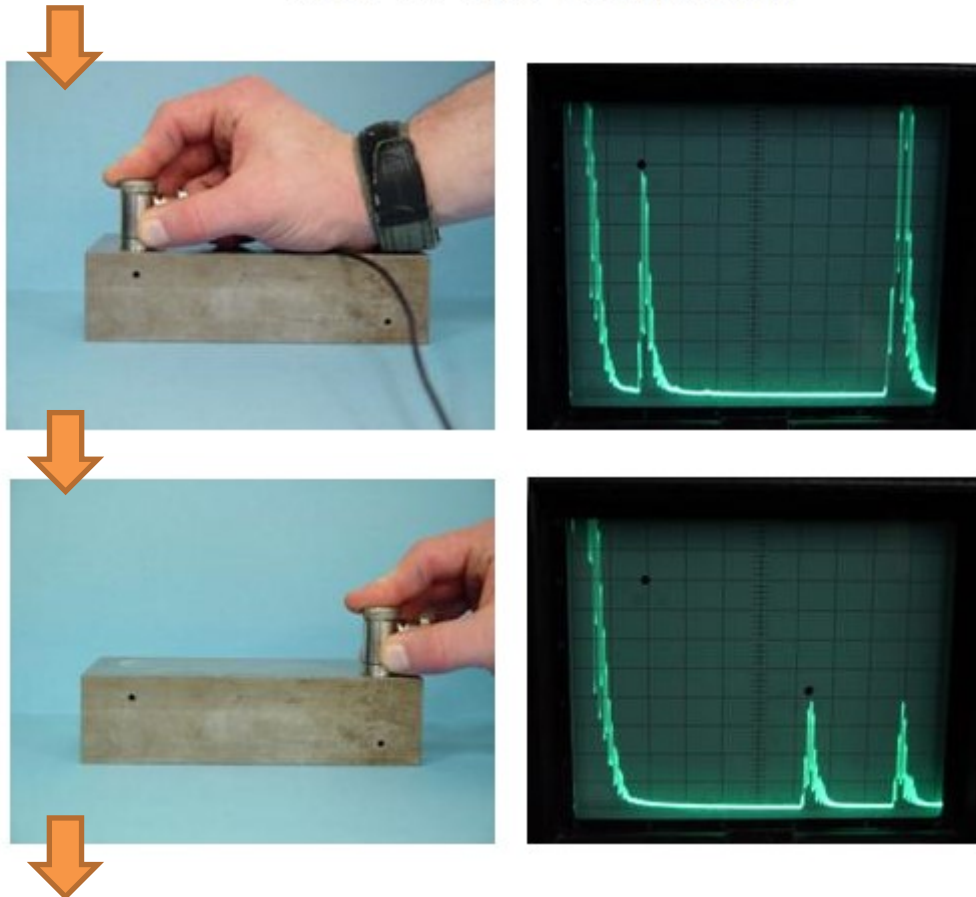
Yang pertama adalah *gain*. *Gain* merupakan tingkat kekuatan gelombang suara yang dikeluarkan oleh *probe*. Naikkan *gain* jika pulsar yang ditampilkan pada layar mesin UT terlalu lemah dan sebaliknya. Yang berikutnya kita harus menyesuaikan *angle* dan *number of crystal* sesuai dengan *probe* yang kita gunakan, lalu atur besar *velocity* sesuai dengan material yang akan diuji yaitu 4600 m/s untuk jenis *cast iron*. Selanjutnya, atur besar *Spath* sekitar dua kali tebal material dan yang terakhir adalah sesuaikan besar *Zero* sampai angkanya menunjukkan ketebalan material yang sedang discan (Blok Kalibrasi 11 W type 1). Perlu diingat bahwa ketika akan membaca besar kedalaman (*depth*) pada *UT machine screen display*, terlebih dahulu harus mengatur tanda *GASstart*, sampai tandanya berada di atas atau memotong pulsar yang ingin dibaca.

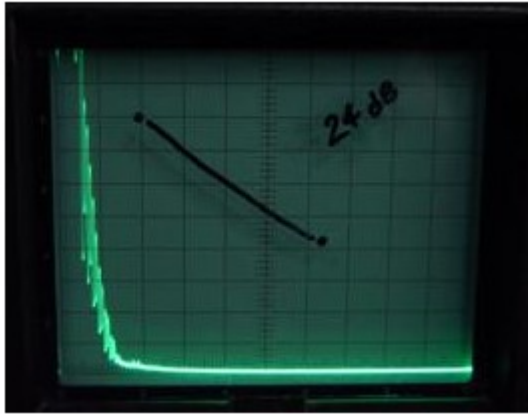
- 4) Setelah melakukan kalibrasi pada blok 11 W type 1, pengambilan data (*scan*) terhadap set *Area* dan *Distance Amplitude Block* bisa dilakukan. Pengujian atau *scan* dilakukan pada daerah permukaan yang berlawanan dari arah permukaan lubang
- 5) Posisikan unit pencari pada indikasi maksimum yang akan menghasilkan respons terbesar.
- 6) Atur kontrol sensitivitas (*gain*) untuk memberikan 80% (+- 5%) indikasi *flat-bottom hole*. Ini merupakan level referensi utama. Tandai puncak indikasi tersebut pada layar.
- 7) Posisikan unit pencari pada *block* lainnya dengan indikasi maksimum.
- 8) Selanjutnya, bersamaan dengan pengujian set *Distance Amplitude Block*, tandai puncak pulsar *defect* pada setiap blok untuk kemudian dihubungkan menjadi sebuah *Distance-Amplitude Curve*.
- 9) Setelah semua indikasi diskontinuitas selesai diuji dan didokumentasikan, maka pengujian dengan metode *Ultrasonic Testing* telah selesai.
- 10) Berikutnya, melakukan analisis dan pembahasan data yang didapatkan dari hasil *Ultrasonic Testing*.
- 11) Yang terakhir adalah pembuatan kesimpulan dari seluruh pengujian dan tugas akhir ini.

Diagram gambar II.9 di bawah ini menunjukkan ilustrasi proses pembuatan kurva DAC dengan alat bantu blok kalibrasi *side-drilled hole*.



ASME 1 3/4" Basic Calibration Block





Gambar II 13. Ilustrasi Proses Pembuatan Kurva DAC (Sumber: NDE Education)

Halaman ini sengaja dikosongkan

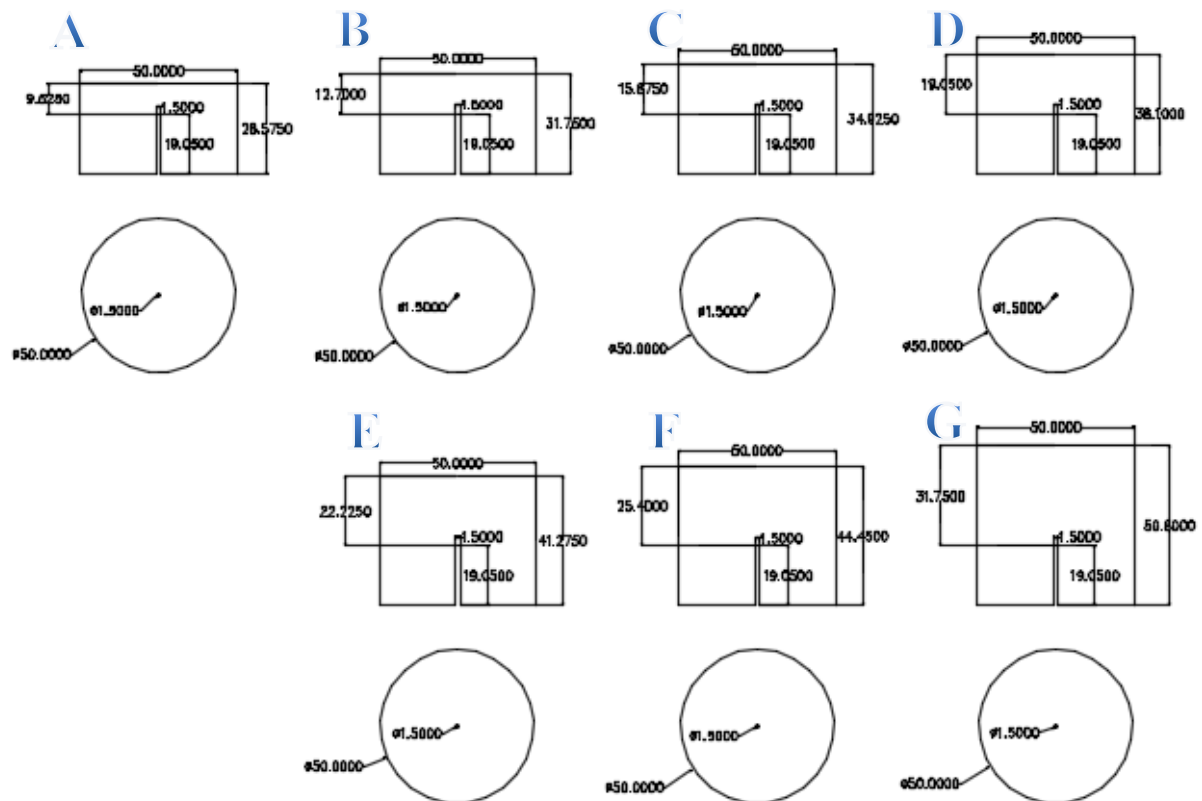
BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang analisa dan pembahasan hasil pengujian ukuran diskontinuitas pada dua set blok kalibrasi dengan variasi kedalaman *metal path* (jarak dari permukaan *scan* menuju letak diskontinuitas) dan lebar diameter lubang *flat-bottom hole* dengan metode *Ultrasonic Testing*. Kondisi pelaksanaan pengujian sesuai dengan metodologi penelitian pada bab sebelumnya.

IV.1. Hasil Pengujian Set *Distance Amplitude Block*

Semua blok kalibrasi pada set ini memiliki kedalaman lubang *flat-bottom hole* sebesar 19.05 mm dan diameter lubang sebesar 1.5 mm dengan *metal path* yang berbeda-beda. Untuk memudahkan pemaparan hasil pengujian set *Distance Amplitude Block* ini, maka setiap blok kalibrasi pada set ini akan diberi kode masing-masing yang dimulai dari *metal path* terkecil sampai terbesar, sesuai dengan ilustrasi berikut.



Gambar IV 1. Set *Distance Amplitude Block*

Berikut merupakan jarak *metal path* atau jarak dari permukaan *scan* menuju letak diskontinuitas, pada masing-masing blok :

Blok A : *metal path* sebesar 9.525 mm

Blok B : *metal path* sebesar 12.7 mm

Blok C : *metal path* sebesar 15.875 mm

Blok D : *metal path* sebesar 19.05 mm

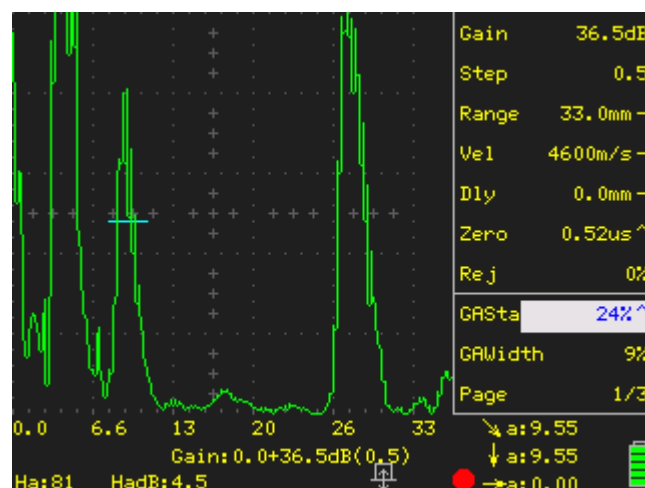
Blok E : *metal path* sebesar 22.225 mm

Blok F : *metal path* sebesar 25.4 mm

Blok G : *metal path* sebesar 31.75

IV.1.1. Hasil Pengujian Blok A

Gambar di bawah ini merupakan hasil dari pengujian Blok A set *Distance Amplitude Block*.



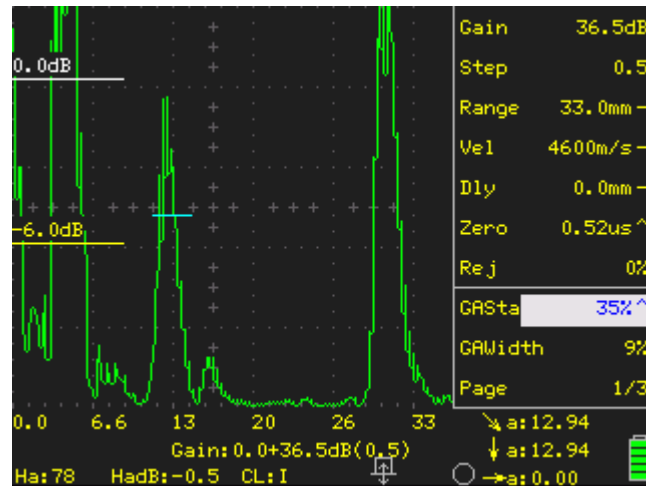
Gambar IV 2. Tampilan hasil pengujian Blok A

Terlihat dari Gambar IV.2 bahwa saat *GASStart* diarahkan di atas *defect pulse*, maka indicator kedalaman atau *depth* menunjukkan angka sebesar 9.55 mm yang sesuai dengan ukuran *metal path* yang sengaja dibuat pada Blok A dan letak dari *defect pulse* juga berada di sekitar angka 9.5.

Khusus untuk pengujian UT Blok A, besar *gain* dinaikkan sampai tinggi *defect pulse* dibuat sampai menyentuh 80% FSH (*Full Screen Height*) atau angka *Ha* menunjukkan sekitar 80. Sebelum dilanjutkan kepada pengujian Blok B, puncak dari *defect pulse* pengujian Blok A sudah ditandai terlebih dahulu.

IV.1.2. Hasil Pengujian Blok B

Gambar IV 3. menunjukkan hasil dari pengujian Blok B set *Distance Amplitude Block*. Pada pengujian Blok B sampai Blok G, besar *Gain*, *range*, dan *zero* sudah tidak diubah-ubah kecuali menggeser letak *gate* ke atas pulsar cacat.

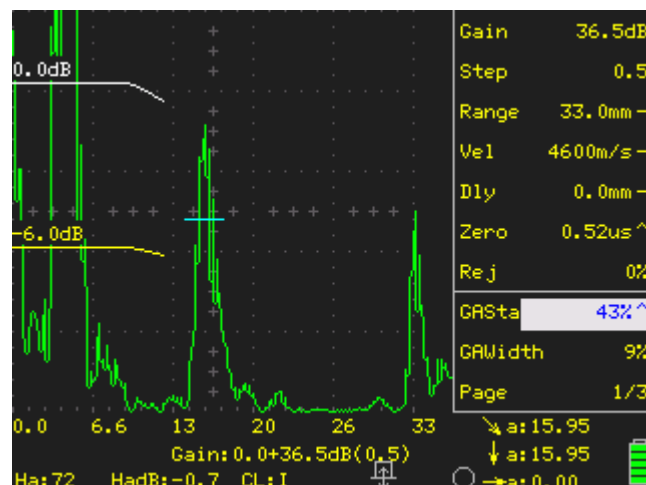


Gambar IV 3. Tampilan hasil pengujian Blok B

Hasil pembacaan saat *GAStart* diarahkan pada pulsar *defect* Blok B menunjukkan kedalaman *metal path* sebesar 12.94 mm yang sesuai dengan desain awal blok kalibrasi. Titik puncak pada *defect pulse* Blok A yang sebelumnya sudah ditandai, ditarik garis lurus dari pinggir tampilan layar sehingga memunculkan garis seperti gambar IV.3.

IV.1.3. Hasil Pengujian Blok C

Gambar di bawah ini menampilkan hasil pengujian Blok C set *Distance Amplitude Block*.

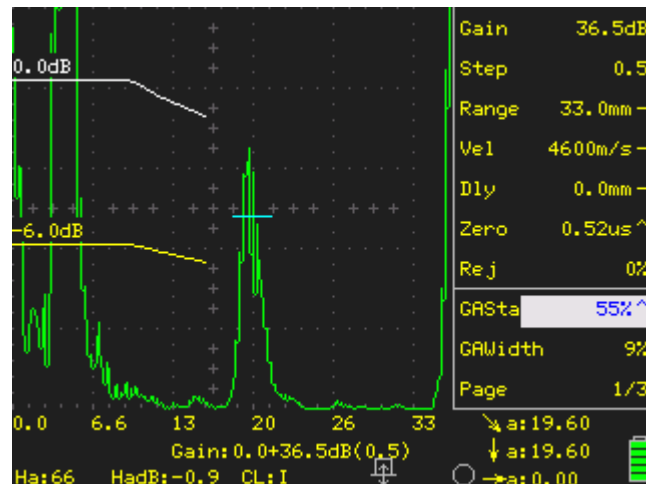


Gambar IV 4. Tampilan hasil pengujian Blok C

Hasil pada gambar IV.4. tersebut merupakan tampilan dari pengujian Blok C. Indikasi *depth* pada layar menunjukkan *metal path* pada Blok C sebesar 15.95 mm yang sesuai dengan pembuatan blok kalibrasi sebenarnya. Garis putih pada tampilan layar merupakan kurva yang menghubungkan titik puncak pulsar *defect* Blok A dan Blok B.

IV.1.4. Hasil Pengujian Blok D

Gambar IV.5. menunjukkan hasil dari pengujian Blok D set *Distance Amplitude Block*.

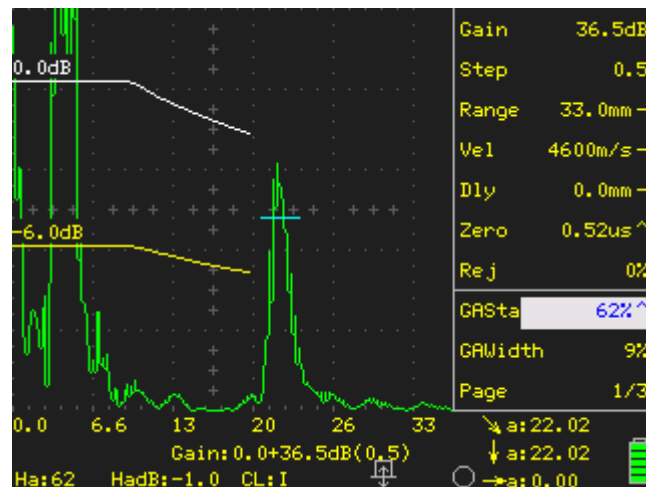


Gambar IV 5. Tampilan hasil pengujian Blok D

Terlihat pada gambar di atas, pembacaan *gate* pada *defect pulse* menunjukkan kedalaman *metal path* sebesar 19.6 mm, sesuai dengan desain awal blok kalibrasi. Kurva berwarna putih di atas merupakan titik-titik puncak *defect pulse* Blok A, B, dan C yang dihubungkan. Pada tahap ini, kurva backwall sudah mulai tidak terlihat (tertutup setengahnya) dikarenakan tebal keseluruhan material (38.1 mm) sudah melebihi besar *range* yang diset (33.0 mm).

IV.1.5. Hasil Pengujian Blok E

Gambar IV.6 menampilkan hasil dari pengujian Blok E set *Distance Amplitude Block*.

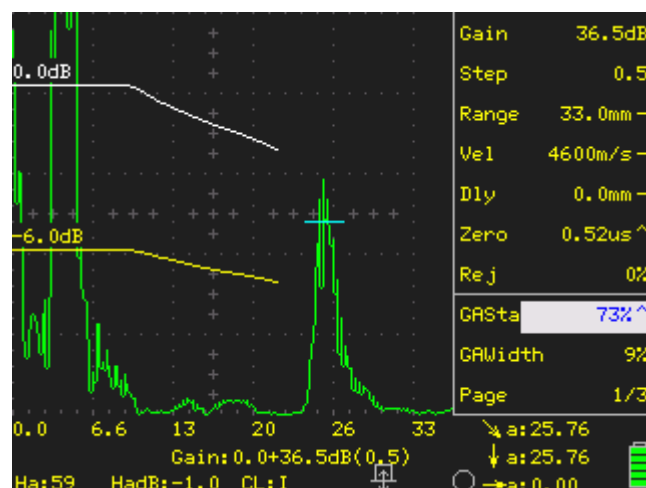


Gambar IV 6. Tampilan hasil pengujian Blok E

Pembacaan dari *gate* pada *defect pulse* Blok E menunjukkan angka sebesar 22.02 mm. Hasil ini sesuai dengan *metal path* desain Blok E yang dibuat. Kurva berwarna putih di atas merupakan gabungan titik puncak pulsar cacat Blok A, B, C, dan D. Pada tahap ini, *backwall pulse* sudah tidak terlihat sepenuhnya seperti yang terlihat pada hasil pengujian Blok E.

IV.1.6. Hasil Pengujian Blok F

Gambar di bawah ini menunjukkan hasil uji UT Blok F set *Distance Amplitude Block*.

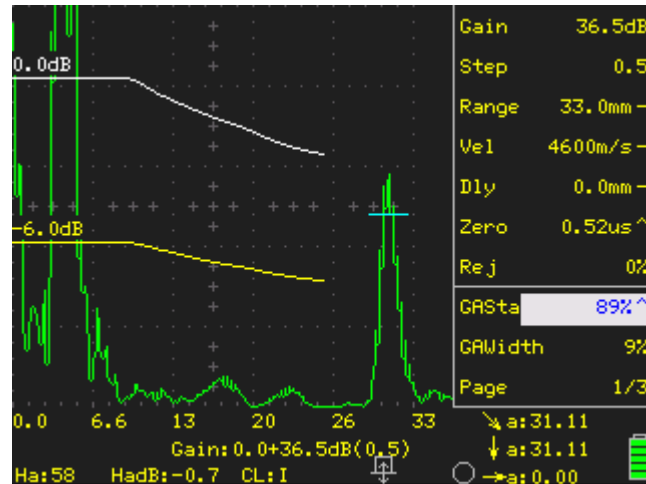


Gambar IV 7. Tampilan hasil pengujian Blok F

Hasil pembacaan dari *gate* pada pulsar cacat Blok F menampilkan besar *depth* sebesar 25.76 mm. Hasil ini sesuai dengan ukuran *metal path* yang sengaja dibuat pada blok kalibrasi F dan kurva di atas adalah sambungan antar titik puncak *defect pulse* Blok A, B, C, D, dan E.

IV.1.7. Hasil Pengujian Blok G

Pada gambar IV 8. menampilkan hasil pengujian UT blok terakhir dari set *Distance Amplitude Block*.



Gambar IV 8. Tampilan hasil pengujian Blok G

Hasil pembacaan *gate* pada *defect pulse* Blok G menunjukkan angka kedalaman *metal path* sebesar 31.11 mm. Pada gambar di atas juga terlihat kurva berwarna putih yang mengkoneksikan titik-titik puncak pulsar cacat Blok A, B, C, D, E, dan F.

IV.1.8. Ringkasan Hasil Pengujian Set *Distance Amplitude Block*

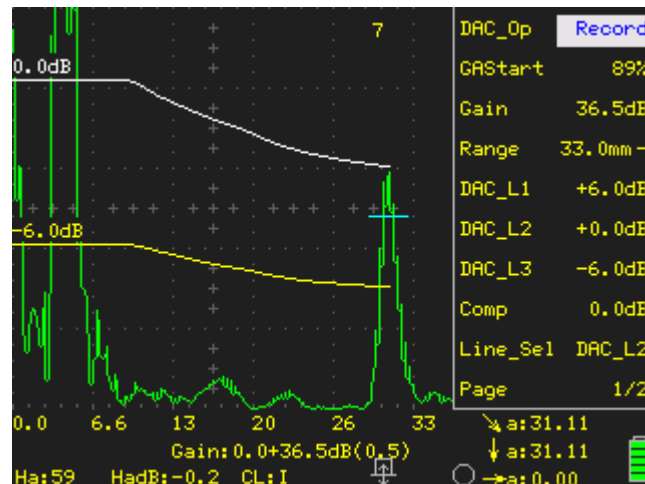
Tabel di bawah berikut menunjukkan hasil *scan* set *Distance Amplitude Block*

Tabel IV 1. Tabel hasil pengujian *Distance Amplitude Block* (mm)

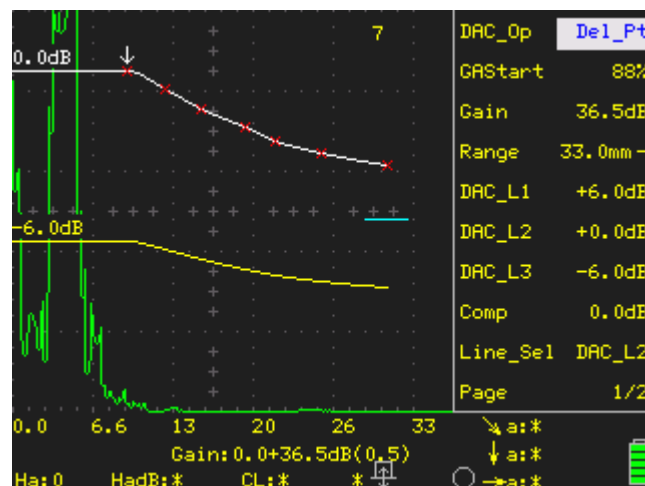
No.	Diameter Diskontinuitas	Tinggi Material	Kedalaman Design	Kedalaman Hasil Pengukuran	Simpangan
A	1.5	28.575	9.525	9.55	0.26%
B	1.5	31.75	12.7	12.91	1.65%
C	1.5	34.925	15.875	15.95	0.47%
D	1.5	36.1	17.05	17.6	3.23%
E	1.5	41.275	22.225	22.02	0.92%
F	1.5	44.45	25.4	25.76	1.42%
G	1.5	50.8	31.75	31.11	2.02%

IV.1.9. Bentuk Kurva DAC Hasil Pengujian Set *Distance Amplitude Block*

Setelah semua pengujian blok kalibrasi pada set *Distance Amplitude Block* telah selesai dilakukan, maka kurva DAC dapat terbentuk dari hubungan antar titik puncak masing-masing blok yang terdapat pada set ini.



Gambar IV 9. Tampilan Kurva DAC set *Distance Amplitude Block*



Gambar IV 10. Tujuh titik puncak *defect pulse* sebagai pembentuk kurva DAC

Gambar IV.10. menunjukkan titik-titik merah sebagai puncak-puncak pulsar cacat dari Blok A sampai Blok G set *Distance Amplitude Block* sebagai pembentuk kurva DAC

IV.1.10. Analisa Hasil Pengujian *Distance Amplitude Block* dan Kurva DAC

Hasil pengujian ini digunakan untuk menentukan hubungan antara jarak metal blok (*metal distance*) dengan amplitude sinyalnya. Tampilan scanning pada monitor *Ultrasonic Testing* juga menunjukkan bahwa semakin dalam diskontinuitas maka semakin rendah pula *indication pulse* yang muncul. Hal ini disebabkan energi yang dipantulkan oleh reflektor (lubang) semakin kecil seiring dengan bertambahnya kedalaman lubang oleh karena energi gelombang yang berkurang saat gelombang merambat untuk mencapai diskontinuitas atau reflektor. Selanjutnya, angka-angka atau besar kedalaman yang ditampilkan dari hasil pengujian ini juga sangat mendekati dengan ukuran aslinya. Analisa perbedaan yang kecil ini bisa disebabkan karena adanya perbedaan tipis ukuran ketika pembuatan blok kalibrasi dari desain aslinya dan juga akibat dari internal *probe*.

Selain itu, pengujian pada blok kalibrasi ini juga menunjukkan banyak sekali *noise pulse* atau pulsar-pulsar yang menyerupai cacat-cacat yang sangat kecil. Hasil ini dihasilkan oleh karena struktur internal material *cast iron* yang dikategorikan berporous.

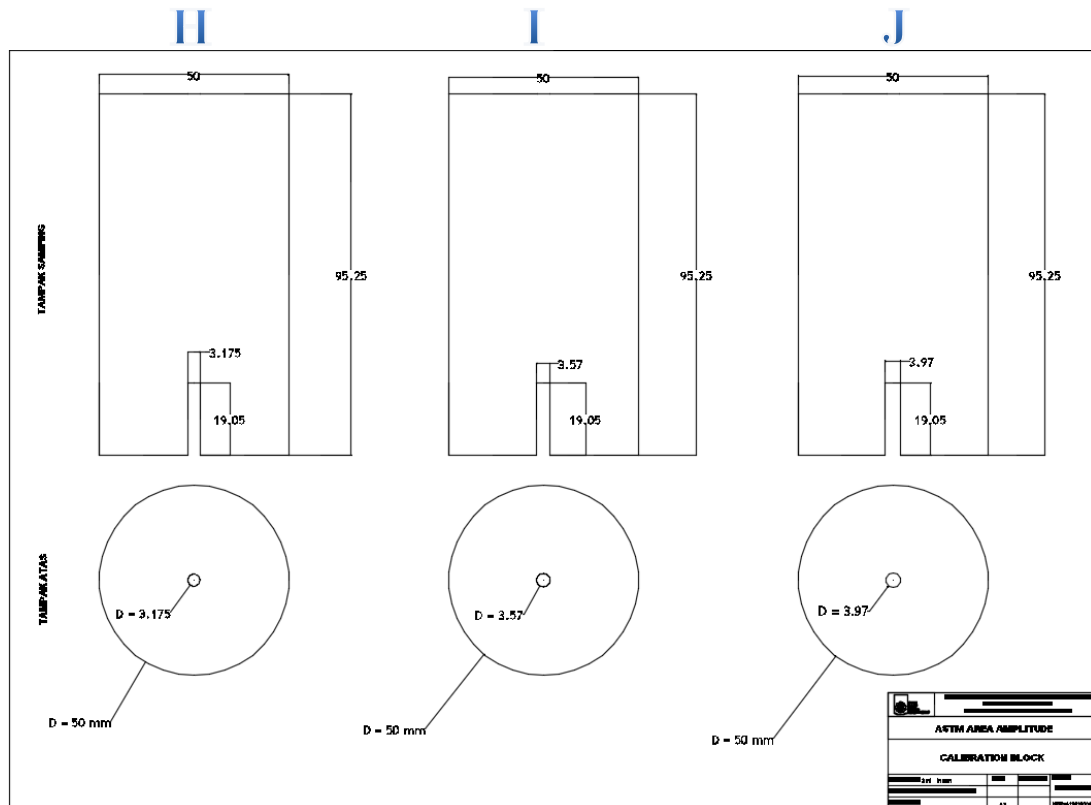
Hal selanjutnya yang didapat dari pengujian set *Distance Amplitude Block* ini adalah kurva DAC yang merupakan referensi tingkat sensitivitas pada variasi letak kedalaman cacat dengan jenis reflector atau *defect* yang sama. Kurva DAC yang terbentuk dari pengujian ini, memiliki bentuk yang sesuai dengan specimen yang diuji yaitu dari specimen dengan kedalaman cacat terdangkal sampai terdalam. Hasilnya adalah, bentuk kurva yang turun secara eksponensial.

Sebagai tambahan pada hasil analisis di atas, ukuran *flat-bottom hole* yang didesain dengan besar 1.5 mm memiliki fungsi sebagai batas indikasi pada peraturan ASME. Umumnya, indikasi dengan besar lebih dari 1.5 mm dianggap sebagai *relevant indication* sedangkan indikasi dengan ukuran 1.5 mm atau kurang dikategorikan sebagai *irrelevant indication*. Dengan informasi seperti ini, kurva DAC di atas bisa dijadikan sebagai standar pengujian untuk material *cast iron* dengan tebal material pada *range* sesuai dengan blok kalibrasi yang dibuat. Ketika sebuah pengujian material *cast iron* dengan tebal material di dalam *range* kurva DAC di atas dilakukan, jika pulsar atau indikasi menunjukkan tinggi melewati tinggi kurva DAC, maka ukuran cacat tersebut melebihi 1.5 mm dan bisa dikategorikan sebagai *relevant indication*.

IV.2. Hasil Pengujian Set *Area Amplitude Block*

Satu set blok kalibrasi ini mempunyai kedalaman lubang *flat-bottom hole* sebesar 19.05 mm dan *metal path* (jarak dari permukaan *scan* menuju letak diskontinuitas) sebesar 75 mm dengan diameter lubang yang bervariasi (3.2 mm, 3.6 mm, dan 4.0 mm)

Untuk memudahkan pemaparan hasil pengujian set *Area Amplitude Block* ini, maka masing-masing blok kalibrasi pada set ini akan dinamai dimulai dari diameter *flat-bottom hole* terkecil sampai terbesar, sesuai dengan ilustrasi berikut.



Gambar IV 11. Set Area Amplitude Block

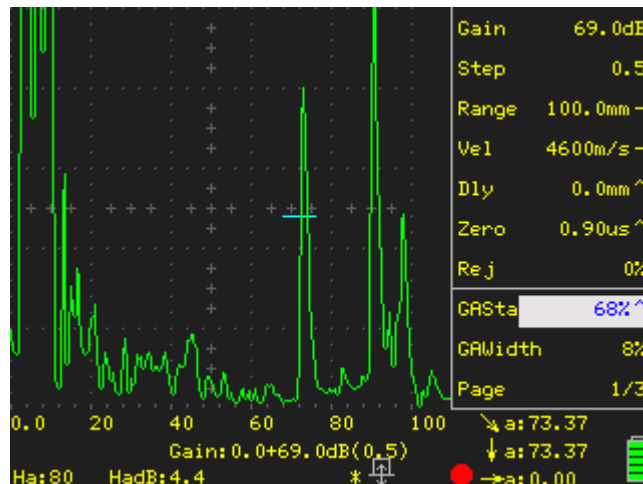
Blok H : Diameter lubang sebesar 3.2 mm

Blok I : Diameter lubang sebesar 3.6 mm

Blok J : Diameter lubang sebesar 4.0 mm

IV.2.1. Hasil Pengujian Blok H

Gambar di bawah ini merupakan hasil pengujian Blok H set *Area Amplitude Block*. Berbeda dengan pengujian set *Distance Amplitude Block*, semua ketinggian pulsar diskontinuitas pada pengujian set ini dibuat mencapai 80% FSH (*Full Screen Height*).

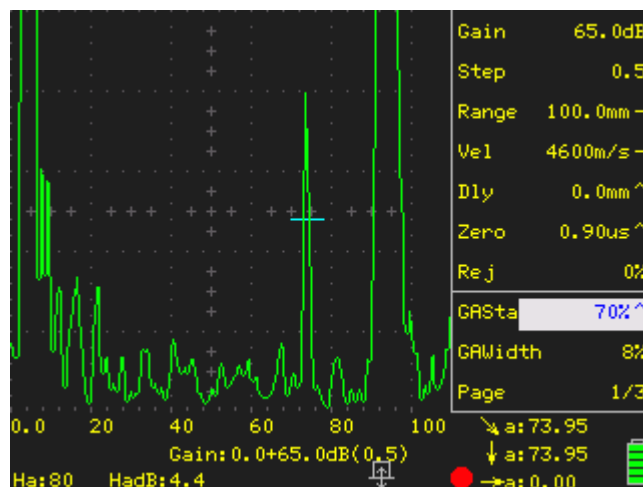


Gambar IV 12. Tampilan hasil pengujian Blok H

Gambar IV 12. menunjukkan pengukuran *gate* pada *flaw pulse* Blok H memberikan hasil sebesar 73.37 mm dengan *gain* sebesar 69.0dB.

IV.2.2. Hasil Pengujian Blok I

Gambar IV 13. Memperlihatkan hasil uji Blok I set *Area Amplitude Block*.

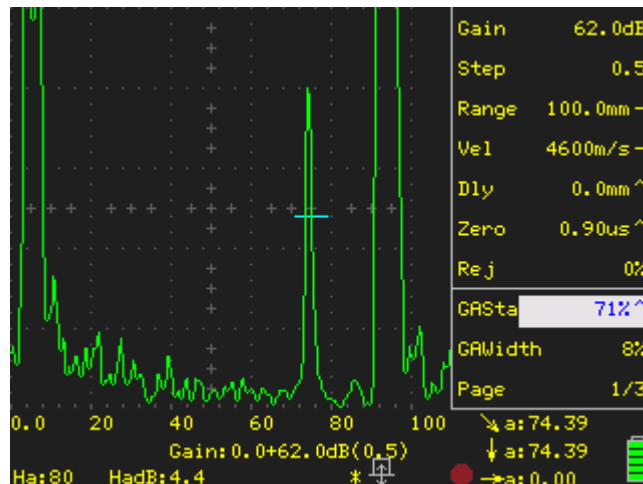


Gambar IV 13. Tampilan hasil pengujian Blok I

Hasil pengukurang *depth* seperti yang tertera pada gambar IV.13 menunjukkan angka 73.95 mm dengan *gain* 65.0dB, tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari rancangan awal.

IV.2.3. Hasil Pengujian Blok J

Gambar di bawah ini menunjukkan hasil pengujian blok terakhir set *Area Amplitude Block* dengan besar diameter lubang 4.0 mm.



Gambar IV 14. Tampilan Hasil Pengujian Blok J

Gambar IV 14. memperlihatkan besar pengukuran *metal path* dari Blok J sebesar 74.39 mm dan membutuhkan *gain* sebesar 62.0dB untuk mencapai 80% *Full Screen Height*.

IV.2.4. Ringkasan Hasil Pengujian Set *Area Amplitude Block*

Tabel di bawah berikut menunjukkan hasil *scan* set *Area Amplitude Block*

Tabel IV 2. Tabel hasil pengujian *Area Amplitude Block* (mm)

No.	Diameter Diskontinuitas	Tinggi Material	Kedalaman Design	Kedalaman Hasil Pengukuran	Simpangan	Gain 80% FSH
H	3.175	95.25	76.2	73.37	3.71%	69 dB
I	3.57	95.25	76.2	73.95	2.95%	65 dB
J	3.97	95.25	76.2	74.39	2.38%	62 dB

IV.2.5. Analisa Hasil Pengujian Set *Area Amplitude Block*

Alasan utama pembuatan *flaw pulse* pada Blok H, I, dan J mencapai 80% FSH adalah untuk menganalisis hubungan dari ukuran diskontinuitas (besar *flat-bottom hole*) dengan pulsar yang dihasilkan.

Seperti yang terlihat pada gambar hasil uji Blok H, I, dan J, dengan ukuran lubang buatan yang berbeda-beda, maka dibutuhkan *gain* atau *power* yang berbeda agar tinggi pulsar mencapai 80% FSH. Semakin besar diameter dari lubang *flat-bottom hole*, maka semakin kecil pula *power* atau *gain* yang dibutuhkan untuk mencapai 80% FSH. Analisis dari fenomena ini adalah, semakin besar diameter diskontinuitas maka semakin besar reflektor gelombang suara sehingga semakin kuat juga gelombang suara yang dipantulkan dan mencapai *transducer*.

Hasil pengujian ini juga bisa dijadikan sebagai referensi pengujian UT material *cast iron* dengan cara membandingkan *gain* yang diperlukan untuk membuat pulsar indikasi

mencapai 80% FSH dan menggunakan besar *gain* pada hasil pengujian Blok H, I, dan J sebagai batas ukuran diskontinuitas.

Jika pengujian pada material *cast iron* lain membutuhkan *gain* sebesar 70.0dB untuk mencapai 80% FSH pada *flaw pulse*, ketika dibandingkan dengan hasil uji Blok H yang besar *gain*nya 69.0dB, maka ukuran diskontinuitasnya bisa dipastikan lebih kecil dari 3.2 mm. Sebaliknya, jika indikasi pada material *cast iron* lain membutuhkan *gain* di bawah 69.0dB untuk mencapai 80% FSH, maka ukuran diskontinuitasnya lebih besar dari 3.2 mm. Untuk memperjelas, persamaan matematik sederhana berikut akan menggambarkan batasan ukuran diskontinuitas berdasarkan *gain* saat pengujian Blok H, I, dan J.

$$W \text{ dB} < \text{gain Blok J} < X \text{ dB} < \text{gain Blok I} < Y \text{ dB} < \text{gain Blok H} < Z \text{ dB}$$

$Z \text{ dB}$: Jika *gain* yang didapat lebih besar dari *gain* Blok H, maka ukuran diskontinuitas lebih kecil dari 3.2 mm

$Y \text{ dB}$: Jika besar *gain* yang didapat di antara *gain* Blok H dan Blok I, maka ukuran diskontinuitas di antara 3.2 mm dan 3.6 mm

$X \text{ dB}$: Jika besar *gain* yang didapat di antara *gain* Blok I dan Blok J, maka ukuran diskontinuitas di antara 3.6 dan 4.0 mm

$W \text{ dB}$: Jika *gain* yang didapat lebih kecil dari *gain* Blok J, maka ukuran diskontinuitas lebih besar dari 4.0 mm

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan dari metode pengujian *Ultrasonic Testing* terhadap pengaruh ukuran serta kedalaman cacat yang terjadi pada material *iron casting* maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Variasi ketebalan *metal path* pada set *Distance Amplitude Block* menunjukkan bahwa semakin dalam letak diskontinuitas dari permukaan *scan*, maka semakin rendah pulsar indikasi yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh terserapnya energi gelombang suara seiring perambatannya di dalam material
2. Variasi diameter diskontinuitas pada set *Area Amplitude Block* menunjukkan bahwa semakin luas permukaan *flat-bottom hole*, maka semakin tinggi pulsar indikasi yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya besar reflektor gelombang suara sehingga gelombang yang dipantulkan oleh reflektor semakin banyak dan menghasilkan *echo* yang lebih kuat.
3. Kurva DAC hasil pengujian dari set *Distance Amplitude Block* bisa dijadikan standar sensitivitas pengujian dengan material yang sama, dengan syarat memiliki *range* ketebalan material yang sesuai dengan kurva DAC yang bersangkutan. Jika pulsar indikasi pengujian material *cast iron* lain yang memiliki ketebalan dalam *range* kurva DAC lebih tinggi dibandingkan kurva DAC tersebut, maka ukuran diskontinuitasnya lebih besar dari 1.5 mm dan disebut dengan *relevant indication* sesuai dengan standar ASME. Sebaliknya jika pulsar indikasi lebih pendek dibandingkan kurva DAC, maka ukuran indikasi tersebut lebih kecil dari 1.5 mm dan dikategorikan sebagai *non-relevant indication*.
4. Hasil pengujian dari *Area Amplitude Block* bisa dijadikan referensi besar diskontinuitas berdasarkan perbandingan besar *gain* yang dibutuhkan agar pulsar indikasi mencapai 80% FSH. Jika *gain* yang diperlukan untuk mencapai 80% FSH pada pengujian *cast iron* lain lebih besar dibandingkan dengan *gain* pada pengujian Blok H, I, atau J, maka ukuran

diskontinuitas pada material *cast iron* lain lebih kecil dibandingkan dengan ukuran diskontinuitas pada blok kalibrasi *Area Amplitude*.

Sebaliknya, jika *gain* yang diperlukan lebih kecil dibandingkan dengan *gain* pada pengujian Blok H, I, atau J, maka ukuran diskontinuitas pada *cast iron* tersebut lebih besar dibandingkan dengan ukuran diskontinuitas pada *Area Amplitude calibration blocks*.

5. Kekasaran permukaan uji *Ultrasonic Testing* sangat mempengaruhi pengujian UT. Semakin bergelombang permukaan tempat dilakukan *scanning*, maka hasil UT akan semakin tidak akurat. Kekasaran permukaan yang diuji sebaiknya mendekati kekasaran permukaan blok kalibrasi
6. Permukaan dasar *flat-bottom hole* sangat berpengaruh terhadap pantulan gelombang suara yang dihasilkan. Gelombang pantulan akan semakin sempurna ketika permukaan *reflector* (lubang) datar.
7. Pengujian *Ultrasonic Testing* lebih sulit dilakukan pada material *iron (cast)* dibandingkan dengan material lainnya yang dikarenakan oleh struktur internal material *casting*.

V.2. Saran

Hasil pengujian masih terganggu oleh adanya permukaan uji (*scanning*) yang tidak halus dan bagian dasar lubang yang tidak datar sempurna. Penggunaan mesin EDM *wire cutting* dalam pemotongan diharapkan dapat meningkatkan kehalusan permukaan dan EDM *stamp* bisa membentuk dasar lubang yang datar sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Agency, I. A. (1999). *Ultrasonic Testing of Materials at Level 2*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- ASTM A370. (2004). *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- D.J. Chwirut, G. (1976). *Procedures for the Calibration of ASTM E-127 Type Ultrasonic Reference Blocks*. Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce.
- Genculu, S. (2004). Cast Irons -- Properties and Applications. *CAB Incorporated*, 8.
- Hellier, C. (2003). *Handbook of NonDestructive Evaluation*. New York: Mc-Graw Hill.
- Utomo, F. (2015). *Electrical Discharge Machine (EDM)*. Jakarta.
- Van Dokkum, K. (2005). *Ship Knowledge*. Enkhuizen, The Netherlands: Dokmar.

LAMPIRAN

Lampiran A *Cast Iron Composition and Mechanical Properties*

LAMPIRAN A

CAST IRON COMPOSITION AND MECHANICAL PROPERTIES

Range of compositions for typical unalloyed cast irons
Values in percent (%)

Type of Iron	Carbon	Silicon	Manganese	Sulfur	Phosphorus
Gray	2.5 - 4.0	1.0 - 3.0	0.2 - 1.0	0.02 - 0.25	0.02 - 1.0
Ductile	3.0 - 4.0	1.8 - 2.8	0.1 - 1.0	0.01 - 0.03	0.01 - 0.1
Compacted Graphite	2.5 - 4.0	1.0 - 3.0	0.2 - 1.0	0.01 - 0.03	0.01 - 0.1
Malleable (Cast White)	2.0 - 2.9	0.9 - 1.9	0.15 - 1.2	0.02 - 0.2	0.02 - 0.2
White	1.8 - 3.6	0.5 - 1.9	0.25 - 0.8	0.06 - 0.2	0.06 - 0.2

	Brinell Hardness	Tensile Strength	Modulus of Elasticity	% Elongation (in 50 mm)
Gray iron class 25	187	29.9 ksi	16.6 Msi	-
Gray iron class 40	235	41.9 ksi	18.2 Msi	-
Ductile iron grade 60-40-18	130-170	60 ksi	24.5 Msi	-
Ductile iron grade 120-90-02	240-300	120 ksi	25.5 Msi	-
CGI grade 250	179 max	36.2 ksi min		3
CGI grade 450	207-269	65.2 ksi min		1



David Andreas Kostaman

Jakarta, Indonesia

Linkedin: www.linkedin.com/in/david-andreas-kostaman-98b43912a

Email : david2408ak@gmail.com

Phone : (+62) 811 146 1180 ; (+66) 813 057 921

Profile

David Andreas Kostaman is a final year engineering student at Institute Technology Sepuluh Nopember Surabaya, chosen to be participated in a **student-exchange program** at Chulalongkorn University, Faculty of Industrial Engineering, Thailand.

David is an engineering and technology enthusiast since he was in junior high school. He has the **ability to cope with pressure**, has good **problem solving** and **analytical skills**, **good creativity**, and **innovations**. Moreover, his additional ability about **foundation of business strategy** and **supply chain management** make him fits to work in a top management consulting firm.

His past organizational experience taught him to be an efficient multi-tasker and able to prioritize tasks accordingly to achieve goals in a timely manner. Furthermore, David has a lot of experience on international scale such as an Indonesian Delegate for Thailand Youth Speak Forum by AIESEC Thailand and as a Student Delegate for student exchange program in Chulalongkorn University. Eventually, David always studies well to keep his grade at the maximum and it is proven when he achieved the perfect GPA (4.00 from 4.00 scale) on his third semester.

David is an awardee of ABS (American Bureau of Shipping) scholarship 2017 and Toyota Astra Foundation scholarship.

Education : Under Graduate Student

- Student-Exchange Program (January 2018) – Chulalongkorn University, Thailand
- Institute of Technology Sepuluh Nopember (ITS Surabaya) Indonesia, Department of Naval Engineering, Faculty of Marine Technology. **GPA : 3.76 (4.00 Scale)**

Management Consulting Experience :

- **A.T. Kearney** – Student based (Investment analysis for medium-size chemical company)

Language Proficiency :

- English at professional level : IELTS Score: 7.0
TOELF ITP Score: 590
- Bahasa Indonesia as native